UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Tesis para acceder al título de Magister en Ciencias Agropecuarias

# EMERGENCIA Y ESTABLECIMIENTO DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) CON DISTINTO GRADO DE REPOSO INVERNAL EN DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES

Ing. Agr. María Julieta Bonvillani

DIRECTOR: Dr. Héctor Pagliaricci

CODIRECTOR: Dr. Alfredo Ohanian

Río Cuarto – Córdoba

**Universidad Nacional de Río Cuarto**
**Facultad de Agronomía y Veterinaria**
**Maestría en Ciencias Agropecuarias**

Título del Trabajo Final: **Emergencia y establecimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con distinto grado de reposo invernal en diferentes condiciones ambientales**

**Autor: María Julieta Bonvillani**
**DNI: 30.095.353**

**Director: Dr. Héctor Pagliaricci**
**Codirector: Dr. Alfredo Ohanian**

**Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:**

**_____**

**_____**

**_____**

**Fecha de Presentación: _____/_____/_____**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente a:

Mi director Héctor Pagliaricci y Co-director Alfredo Ohanian, por todo el apoyo, dedicación y ayuda que me brindaron durante el desarrollo de este trabajo de investigación tanto a nivel profesional como personal.

A la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto por brindarme la posibilidad de continuar creciendo profesionalmente y poder realizar este importante logro en mi vida. También al tribunal evaluador de los cuales aprendí mucho.

A mis compañeros de cátedra por permitirme formar parte de este hermoso grupo de trabajo y a los amigos de la FAV por acompañarme, guiarme y alentarme a terminar esta etapa.

A mis padres Graciela y Daniel, que siempre confiaron en mí y han sido mi guía y sostén durante toda mi existencia. A mis hermanos y sus bellas familias, a mi nona Flora y a mis queridas amigas de la vida.

A mi compañero incondicional Ariel, que nunca me dejo caer y me alentó a seguir y luchar, por tu paciencia, cariño y comprensión. Y finalmente a quienes llegaran a mí, en medio de esta etapa, para iluminarme la vida, a Santino y mis dos retoños.

**DEDICATORIA**

*¡A mi familia: Ariel,*

*Santino y los bebes en camino!*

## RESUMEN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es la especie forrajera de mayor importancia en el mundo y la etapa de implantación define su producción y persistencia. En Argentina, las condiciones favorables para el establecimiento de alfalfa se presentan en otoño, siendo otra alternativa las siembras de primavera. El objetivo fue evaluar el comportamiento de cultivares de alfalfa en diferentes condiciones, durante el establecimiento. Se realizaron dos experimentos, uno en cámara de germinación, utilizando dos cultivares, uno con grado de reposo invernal intermedio (GRI 6) y otro sin reposo (GRI 10) a diferentes temperaturas:10, 20 y 30 ºC. El diseño experimental fue un factorial 2x3. Se evaluaron los días de siembra a: aparición de cotiledones, hojas unifoliadas y trifoliadas y en cada una se midió el peso de las plántulas. No se observaron diferencias entre cultivares y los mejores resultados se obtuvieron a 20 ºC. El segundo experimento se realizó en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Se evaluaron durante dos años y en los mismos cultivares, dos épocas de siembra (primavera y otoño). El diseño experimental fue en bloques completos aleatorios, con parcelas divididas. Se midió la eficiencia de emergencia a los 30 días y de implantación a los 60 días después de la siembra, en ese momento, se determinó el peso de los componentes de la planta y al iniciarse el crecimiento de primavera se evaluó el estadio medio de conteo, la biomasa y la eficiencia del uso del agua. En ambos experimentos, el análisis de datos se realizó mediante el análisis de varianza y comparación de medias Duncan, a través del software INFOSTAT. El stand de plantas logradas a los 30 días fue mayor en siembras de primavera y a los 60 días en siembras de otoño. No hubo diferencias entre cultivares, pero sí entre años. El peso de raíz, parte aérea y total de la planta a los 60 días después de la siembra fueron afectados por la época de siembra, siendo mayores en otoño. Los cultivares presentaron diferencias en el peso de raíz y total de la planta, siendo mayor en el cultivar sin reposo. El estadio medio de conteo no presentó diferencias entre cultivares, pero sí por época de siembra y años, los mayores valores se presentaron en siembras de otoño y segundo año. La producción de biomasa y la eficiencia del uso del agua fueron mayores en las siembras de otoño. Si bien las siembras de otoño presentaron mejores resultados, las de primavera permitirían densidades de plantas adecuadas, al final del establecimiento, para obtener cultivos productivos, persistentes con la posibilidad de integrar la alfalfa a sistemas agrícolas, obteniendo los beneficios de la misma en las rotaciones y la recuperación de la superficie cultivada.

## SUMMARY

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is the most important forage crop in the world, and its stage of development is crucial to its production and persistence. In Argentina, the most adequate environmental conditions for the establishment of alfalfa occur during the fall and, secondly, in spring. The aim of this study was to evaluate the behavior of alfalfa cultivars under diverse environmental conditions during their period of establishment. Two experiments were conducted. The first one was done in a germination chamber using two cultivars under intermediate degree of winter dormancy (DWD 6) as well as under no dormancy (DWD 10) at different temperatures: 10, 20 and 30 °C. The experimental design used was a factorial analysis of 2x3. Planting days were assessed during stages of presence of cotyledons, unifoliate and trifoliate leaves; and during which seedling weight was measured. No differences between cultivars were observed, and the best results were obtained at 20 °C. The second experiment was done in the experimental field at Río Cuarto National University. Two planting seasons (spring and fall) were assessed for two years and within the same cultivars. The experimental design used was of randomized complete blocks with split-plot design. The emergency efficiency was measured on day 30 and the establishment efficiency was measured on day 60 after planting. At that moment, weight of plant component was determined and the Mean Stage of development by Count (MSC), biomass and efficient use of water were calculated at the start of spring growth. For both experiments, data analysis was done using analysis of variance and Duncan´s Multiple Range Test (MRT) through the INFOSTAT software. The plant stand obtained was bigger on day 30 during spring planting and on day 60 during fall planting. No differences were observed between cultivars, but differences were observed between years. Root weight, weight of aerial part of the plant and total plant weight on day 60 after planting were affected by planting season, which were higher during the fall. The cultivars showed differences in root weight and total plant weight, which were higher in the cultivar under no dormancy. The Mean Stage of development by Count (MSC) presented no differences between cultivars, but presented differences between planting seasons and years, within which rates were higher during fall planting and during the second year. Biomass production and the efficiency in the use of water were higher during fall planting. Fall planting showed better results; however, spring planting allowed adequate plant densities at final stage of establishment in order to obtain productive and persistent crops, which allowed the possibility to integrate alfalfa with agriculture systems that bring benefits for crop rotations and recovery of cultivated area.

# ÍNDICE


| | Pág. |
|---|---|
| Agradecimientos | II |
| Dedicatoria | III |
| Resumen | IV |
| Summary | V |
| Índice | VI |
| Índice de tablas | VIII |
| Índice de figuras | X |
| Lista de abreviaturas y/ símbolos | XIII |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Introducción | 1 |
| 1.2. Antecedentes | 4 |
| 1.2.1. Importancia de la alfalfa | 4 |
| 1.2.2. Evolución de la superficie de siembra | 5 |
| 1.2.3. Caracterización de la especie | 6 |
| 1.2.3.1. Descripción botánica | 6 |
| 1.2.3.2. Cultivares y panorama varietal | 7 |
| 1.2.4. Requerimientos edafoclimáticos | 11 |
| 1.2.4.1. Suelo, agua y nutrientes | 12 |
| 1.2.4.2. Clima | 14 |
| 1.2.5. Época de siembra | 16 |
| 1.2.6. Establecimiento | 17 |
| 1.3. Justificación | 25 |
| CAPÍTULO 2: HIPÓTESIS Y OBJETIVOS | 26 |
| 2.1. Hipótesis | 26 |
| 2.2. Objetivo general | 26 |
| 2.3. Objetivos específicos | 26 |
| CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS | 27 |
| 3.1. Experimento 1: en cámara de germinación | 27 |
| 3.2. Experimento 2: a campo | 29 |
| 3.2.1. Características del área donde se realizó el estudio | 29 |
| 3.2.2. Características de suelo | 29 |

3.2.3. Caracterización climática del área de estudio 30
3.2.4. Descripción del ensayo experimental 30
3.2.5. Épocas de siembra 30
3.2.5.1. Siembras de primavera 31
3.2.5.2. Siembras de otoño 31
3.2.6. Características de cultivares 31
3.2.7. Esquema del ensayo 32
3.2.8. Descripción de las determinaciones realizadas 32
3.2.9. Procesamiento de datos 33
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 34
4.1. Resultados del experimento 1 34
4.1.1. Estadio cotiledonar 34
4.1.1.1. Resultado del análisis de la calidad de semillas 34
4.1.1.2. Días de germinación a emergencia de cotiledones 34
4.1.1.3. Peso de plántulas en estadio cotiledonar 36
4.1.2. Hoja unifoliada 37
4.1.2.1. Días de germinación a emergencia de hojas unifoliadas 37
4.1.2.2. Peso de plántulas en hojas unifoliadas 39
4.1.3. Hoja trifoliada 39
4.1.3.1. Días de germinación a emergencia de hoja trifoliada 39
4.1.3.2. Peso de plántulas en estadio de hoja trifoliada 41
4.2. Discusión del experimento 1 41
4.3. Resultados del experimento 2 44
4.3.1. Características climáticas del período de evaluación 44
4.3.1.1. Características climáticas de las siembras de primavera (SP) 44
4.3.1.2. Características climáticas de las siembras de otoño (SO) 46
4.3.2. Análisis de la calidad de semillas 49
4.3.3. Eficiencia de emergencia y de implantación 49
4.3.4. Establecimiento, relación aéreo/raíz 54
4.3.5. Estadio medio de conteo (EMC) 58
4.3.6. Producción de biomasa y eficiencia del uso del agua al primer corte después de la siembra 60
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES 66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67

## INDICE DE TABLAS


| Tabla | | Página |
|---|---|---|
| 1 | Grupos de reposo invernal (GRI) y cultivares testigo definidos por el INASE para la clasificación del reposo invernal de las variedades de alfalfa. Año 2007. | 8 |
| 2 | Estados de madurez de la alfalfa definidos por Kalu y Fick (1981) con base en el desarrollo morfológico de tallos individuales en una muestra de forraje. | 24 |
| 3 | Principales características del suelo Haplustol típico donde se desarrolló el experimento 2. | 30 |
| 4 | Análisis de calidad de las semillas de dos cultivares de alfalfa de distinto GRI | 34 |
| 5 | Porcentaje de aparición de cotiledones en el tiempo (días desde la siembra, dds) en dos cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo invernal (GRI 6 y GRI 10) bajo tres condiciones de temperatura (10 °C, 20 °C y 30 °C). | 35 |
| 6 | Peso promedio de plántulas (mg) en estadio cotiledonar en dos cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo invernal (GRI 6 y GRI 10) bajo tres condiciones de temperatura (10 °C, 20 °C y 30 °C). | 36 |
| 7 | Porcentaje de aparición de hojas unifoliadas, desde la siembra en función del tiempo (días desde la siembra = dds) de dos cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo invernal (GRI 6 y GRI 10) bajo tres condiciones de temperatura (10 °C, 20 °C y 30 °C). | 38 |
| 8 | Peso promedio de plántulas (mg) en hoja unifoliada de dos cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo invernal bajo tres condiciones de temperatura. | 39 |
| 9 | Porcentaje de aparición de hojas trifoliadas en el tiempo (dds) de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) bajo tres condiciones de temperatura (10 °C, 20 °C y 30 °C). | 40 |
| 10 | Peso promedio de plántulas (mg) en hoja trifoliada en dos cultivares de alfalfa GRI 6 y GRI 10 bajo tres temperaturas (10 °C, 20 °C y 30 °C). | 41 |
| 11 | Calidad de semillas según Normas ISTA y densidad de siembra de los dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) previo a las siembras de primavera (SP) y de otoño (SO) para los dos años de evaluación | 49 |

| | | |
|---|---|---|
| 12 | Número de plantas emergidas (pl $m^{-2}$) y eficiencia (%) a los 30 y 60 días desde la siembra de cultivares de alfalfa con diferentes grupos de reposo invernal (GRI 6 y GRI 10) en siembras en otoño y primavera para dos años de evaluación. | 50 |
| 13 | Peso de raíz (mg $pl^{-1}$), peso de parte aérea (mg $pl^{-1}$), relación parte aérea/raíz y peso total/planta (mg $pl^{-1}$) a los 60 días de establecimiento de alfalfa en cultivares con diferente GRI en siembras de otoño y primavera en dos años. | 54 |
| 14 | Estadio medio de conteo (EMC) al primer corte de alfalfa en cultivares con diferente GRI en siembras de otoño y primavera en dos años. | 58 |
| 15 | Producción de biomasa (kg-MS $ha^{-1}$) y Eficiencia del uso del agua (EUA) (KgMS.$mm^{-1}$) al primer corte de alfalfa en cultivares con diferente GRI en siembras de otoño y primavera en dos años. | 60 |

## INDICE DE FIGURAS


| Figura | | Página |
|---|---|---|
| 1 A | Distribución estacional de la producción de forraje de cultivares de reposo invernal intermedio y sin reposo evaluados en tres localidades de la Región Pampeana: Anguil (Semiárido), Marcos Juárez (Subhúmedo) y Rafaela (húmedo) durante el periodo 1998-2002. Fuente: Spada, 2003 y Spada, 2007. | 10 |
| 1 B | Distribución estacional de la producción de forraje de cuatro cultivares de alfalfa con distinto grado de reposo invernal: Tobiano (GRI 4), Victoria SP INTA (GRI 6), Monarca SP INTA (GRI 8) y Rosillo (GRI 10) en la EEA Manfredi durante el periodo 2000-2003 Fuente: Spada, 2003 y Spada, 2007. | 10 |
| 2 | Germinación de la semilla de alfalfa: emergencia de la radícula (a) y desarrollo de la plántula, con aparición de los cotiledones (b) Fuente: Rodríguez y Spada (2007). | 18 |
| 3 | Primeras etapas de desarrollo vegetativo: cotiledonar (a y $a_1$) y hoja unifoliada (b y $b_1$). Fuente: Rodríguez y Spada (2007). | 19 |
| 4 | Primeras etapas de desarrollo vegetativo, con la aparición de dos (a), tres (b), cuatro (c) y cinco (d) hojas trifoliadas. Fuente: Rodríguez y Spada (2007). | 19 |
| 5 | Establecimiento de alfalfa, crecimiento y desarrollo de las plántulas. Fuente: Muller y Teuber (2007). | 19 |
| 6 | Variación de temperatura a lo largo de 24 hs en cámara de germinación a: 30 °C con luz de 7 a 19 hs; a 10 °C con luz de 8:30 a 17:30 hs y 20 °C con luz de12 a 24 hs. | 28 |
| 7 | Esquema de las parcelas donde se realizó el experimento en el Campo experimental de la UNRC, CAMDOCEX. | 32 |
| 8 | Porcentaje de aparición de cotiledones en el tiempo (dds) de dos cultivares de alfalfa GRI 6 y GRI 10 a tres temperaturas (10 °C, 20 °C y 30 °C). | 36 |
| 9 | Porcentaje de aparición de hojas unifolidas en el tiempo (dds) de dos cultivares de alfalfa GRI 6 y GRI 10 a tres temperaturas (10 °C, 20 °C y 30 °C). | 38 |

| | | |
|---|---|---|
| 10 | Porcentaje de aparición de hojas trifoliadas en el tiempo (dds) de dos cultivares de alfalfa GRI 6 y GRI 10 a tres temperaturas (10 °C, 20 °C y 30 °C). | 41 |
| 11 | Temperatura media decádica durante dos años de estudio (Año 1: 2011, Año 2: 2013) para siembras de primavera (SP) en el área experimental del ensayo, comparadas con los promedios del ciclo 1977-2006 en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. | 45 |
| 12 | Temperatura media mensual durante los dos años de estudio (Año 1: 2011, Año 2: 2013) para siembras de primavera (SP) en el área experimental del ensayo, comparadas con los promedios del ciclo 1977-2006 en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. | 45 |
| 13 | Precipitación decádica durante los dos años de estudio (Año 1: 2011, Año 2: 2013) para siembras de primavera (SP) en el área experimental del ensayo, comparación con los promedios del ciclo 1977-2006 en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. | 46 |
| 14 | Temperatura media mensual durante los dos años de estudio (Año 1: 2011, Año 2: 2013) para siembras de otoño (SO) en el área experimental del ensayo, comparación con los promedios del ciclo 1977-2006 en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. | 46 |
| 15 | Temperatura media decádica durante los dos años de estudio (Año 1: 2011, Año 2: 2013) para siembras de otoño (SO) en el área experimental del ensayo, comparación con los promedios del ciclo 1977-2006 en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. | 47 |
| 16 | Precipitaciones media decádica durante los dos años de estudio (Año 1: 2011, Año 2: 2013), en comparación con los promedios del ciclo 1977-2006 en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. | 47 |
| 17 | Temperaturas máximas y mínimas absolutas en el periodo comprendido entre los 30 y 60 días después de la siembra (dds) para cada época. | 48 |
| 18 | Stand de plantas de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño). | 51 |

| | | |
|---|---|---|
| 19 | Stand de plantas y eficiencia de emergencia e implantación de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño). | 52 |
| 20 | Peso de raíz (mg $pl^{-1}$) de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño). | 55 |
| 21 | Peso aéreo (mg $pl^{-1}$) de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño). | 55 |
| 22 | Relación parte aérea / raíz de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño). | 56 |
| 23 | Peso total de plántulas (mg $pl^{-1}$) de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño). | 56 |
| 24 | Producción de biomasa (kg MS $ha^{-1}$) de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño). | 61 |
| 25 | Eficiencia del uso del agua (EUA) al primer corte de alfalfa en cultivares con diferente GRI en siembras de otoño y primavera en dos años | 63 |

## LISTA DE ABREVIATURAS Y/O SÍMBOLOS

| | |
|---|---|
| MS | Materia Seca |
| GRI | Grupo de Reposo Invernal |
| INASE | Instituto Nacional de Análisis de Semillas |
| INTA | Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria |
| EMC | Estadio Medio de Conteo |
| ANOVA | Análisis de la Varianza |
| CAMDOCEX | Campo experimental de docencia e investigación |
| FDA | Fosfato diamonico |
| VC | Valor cultural |
| PG | Porcentaje de poder germinativo o porcentaje de semillas germinadas. |
| δ | Densidad Kg de semillas $ha^{-1}$ |
| PMS | Peso de mil semillas |
| EG | Energía germinativa |
| Dds | Días después de la siembra |

# CAPÍTULO 1

## 1.1. INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una de las principales especies forrajeras a nivel mundial, debido a su alta calidad nutritiva, rendimiento, resistencia a sequía, buena adaptación a diversas condiciones edafoclimáticas. Por otro lado, su capacidad para la fijación del nitrógeno atmosférico a través de la simbiosis con *Sinorhizobium meliloti* la convierten también en un importante componente de la sustentabilidad de los sistemas productivos (Basigalup *et al.,* 2007).

En Argentina, ha sido tradicionalmente la forrajera más importante, llegando en la década del 20 a cubrir una superficie de 8,5 millones de hectáreas. Sin embargo, fue declinando su persistencia y productividad, debido a múltiples factores, la mayoría provocados por inadecuadas prácticas de manejo y por la proliferación de plagas, enfermedades y malezas. Otro factor que influyó, fue el desplazamiento de los sistemas mixtos agrícolas-ganaderos por la agricultura en la Región Pampeana, lo que produjo una drástica reducción de la superficie sembrada con alfalfa. En este contexto sería importante integrar este cultivo a los sistemas agrícolas, para poder recuperar la superficie cultivada y obtener los beneficios de esta especie en las rotaciones (Rossanigo, 1997).

Para poder lograr un adecuado establecimiento y manejo del cultivo de alfalfa, es importante conocer su crecimiento y desarrollo durante las etapas iniciales, como la germinación y emergencia, donde varios factores influyen en cada una de estas etapas, tales como condiciones climáticas (humedad y temperatura), características del suelo, calidad fisiológica de la semilla, y también plagas y enfermedades. El control de este proceso es clave y determinante para el establecimiento, persistencia y producción del cultivo de alfalfa (D'Attellis, 2005).

La fase de establecimiento es fundamental para el éxito económico de la producción de alfalfa con el objetivo de lograr altos rendimientos en forraje y perdurabilidad en el tiempo (Kugler, 2006). En relación a esto, la época de siembra, es una decisión transcendental. Siempre se consideró que el otoño es la mejor época de siembra de esta especie, debido principalmente a la temperatura y nivel de humedad del suelo, que permiten una rápida germinación y mejor desarrollo radicular de la planta, llegando al verano con una raíz que posibilita explorar el suelo en busca de humedad. Pero es importante destacar que la siembra de primavera, es una

alternativa que permite obtener similares resultados que las siembras otoñales, prestando especial atención a algunos factores que deben ser controlados como: disponibilidad hídrica, temperaturas de suelo y aire, control de malezas, momento del primer pastoreo, manejo de la pastura durante el verano, entre otros. La siembra de primavera, permite adelantar la puesta en producción de una pastura, acortando el período de siembra a primera utilización. De no ser así, se debería esperar hasta el otoño del año siguiente para implantarla y esto obligaría a buscar otras alternativas forrajeras para cubrir el déficit que se produce por la falta de esa superficie implantada (Romero, 2016).

Al momento de planificar la siembra del cultivo de alfalfa es importante considerar la adecuada elección del cultivar, ya que en la actualidad existen distintos cultivares de alfalfa, en función de la resistencia a plagas y enfermedades, potencial de producción y persistencia, calidad genética y grado de reposo invernal (GRI) (Spada, 2007).

El reposo invernal es una característica genética en respuesta al fotoperíodo y las bajas temperaturas. En base al GRI los cultivares se clasifican en una escala gradual que va desde GRI 1 (reposo invernal extremadamente largo) a GRI 11 (extremadamente sin reposo invernal) (Basigalup *et al.,* 2007). En la Región Central de Córdoba se utilizan principalmente cultivares de reposo intermedio y sin reposo debido a que las condiciones climáticas son más benignas, mejorando la producción de forraje de los mismos, como así también prolongando su persistencia. Las diferencias de producción estacional e interanual están afectadas por los cambios en la temperatura, radiación solar y precipitaciones de cada ambiente (Collino *et al*., 2005).

Es necesario considerar todo lo anteriormente mencionado para lograr un buen establecimiento y asegurar crecimiento, desarrollo y producción de alfalfa como cultivo puro o en mezclas con otras especies forrajeras.

La calidad forrajera de la alfalfa varía considerablemente en función del estado fenológico del cultivo. Las leguminosas presentan adecuados contenidos proteicos así como también, calcio y fósforo, superando a distintas gramíneas forrajeras invernales y estivales (Viglizzo y Roberto, 1991). Por otra parte, la praderización es un factor de ordenamiento en los campos y una tecnología que aporta sustentabilidad a los mismos. Quienes implantan praderas y logran manejarlas eficazmente, aprenden a controlar un conjunto de variables tecnológicas que tienen un efecto acumulativo sobre el rendimiento ganadero final (Viglizzo, 1995). Una de esas variables tecnológicas es el efecto mejorador de las pasturas sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. La existencia de pasturas implantadas disminuye el laboreo frecuente del suelo, minimizando las pérdidas por erosión. Pero su efecto más importante se

manifiesta a través del incremento de fertilidad y estabilidad estructural de los suelos (Bonel *et al.*, 1980).

Antes del advenimiento de la agricultura, la materia orgánica del suelo y su contenido de nitrógeno (N) presentaban una tendencia creciente. Los incrementos de biomasa por fotosíntesis y la ganancia de N por fijación biológica y por descomposición de minerales, superaban las pérdidas provocadas por la erosión natural, la volatilización y el lavado. El N utilizado por plantas y animales era reciclado a través de sus residuos y desechos. La agricultura en sus diferentes modalidades, podría modificar este escenario, y en las próximas décadas el cambio sería mucho más drástico (Baethgen, 1992).

En este sentido, el pasaje a sistemas basados en monocultivos con utilización de altos niveles de insumos alteró dramáticamente el patrón natural de funcionamiento de los ecosistemas. Es así que hoy la rotación pastura-cultivo vuelve a aparecer como una de las estrategias más promisorias para desarrollar sistemas de producción menos intensivos en el uso de insumos, y a la vez más sustentables en el tiempo. En los sistemas de producción agropecuarios actuales, la alfalfa sigue siendo la base de muchas pasturas que se integran a distintos modelos de rotación. La valoración de los productores de la Región Pampeana en relación al cultivo de alfalfa dentro de los sistemas de producción se basa en primer lugar, en considerarla una fuente de forraje de calidad para sus animales en pastoreo. Luego, la valorizan por su capacidad de henificación. En tercer lugar, le asignan un papel mejorador en la fertilidad de los suelos. No obstante, si se evaluara económicamente los impactos de las leguminosas forrajeras en un sistema de producción, la valoración original podría modificarse (Viglizzo, 1995) ya que cuando la agricultura se realiza en rotación con pasturas base alfalfa hay menores requerimientos de fertilizantes en cultivos agrícolas realizados con posterioridad a la pastura, con un alto impacto en materia económica y ambiental (Espósito, 2007).

## 1.2.ANTECEDENTES

### 1.2.1. Importancia de la alfalfa

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una especie forrajera fundamental para la producción agropecuaria en las regiones templadas del mundo. Su calidad nutritiva, producción de forraje, hábito de crecimiento, perennidad, plasticidad y capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico, la convierten en una especie esencial para muchos sistemas de producción agropecuaria (Pagliaricci *et al*., 2002).

La República Argentina está ubicada en la porción templada del Continente Americano, cuenta con 270 millones de ha en secano y con grandes superficies inhabitadas frente a la alta densidad poblacional de otras zonas de igual latitud en el mundo. Dichas superficies están cubiertas principalmente por pastos, algunas con presencia de árboles y, en menor medida, cultivos extensivos. Se estima que el 60 % de la superficie del país corresponde a pastizales nativos y el 10 % a agricultura forrajera, distribuidas en una gran diversidad de ambientes, y representan la única fuente de alimento para millones de herbívoros. Debido a ello, deberían encontrarse soluciones para cada ambiente integrando la inversión en insumos (semillas, fertilizantes, tratamientos químicos) y las modificaciones de manejo (momento y sistema de siembra, mezclas apropiadas, frecuencia e intensidad de pastoreo) con los nuevos logros de la genética vegetal (Echenique *et al*., 2001).

En Argentina, la alfalfa, es la principal especie forrajera y la base de la producción de carne y leche en la Región Pampeana. La difusión del cultivo se debe a sus altos rendimientos de materia seca (MS), su excelente calidad forrajera y su gran adaptabilidad a diversas condiciones ambientales (suelo, clima) y de manejo (Basigalup *et al*., 2007). Esta especie mediante la fijación simbiótica de nitrógeno (N), realiza aporte de N al sistema. A través de esta vía es posible obtener un importante suministro de este nutriente para determinadas especies vegetales, las que en simbiosis con bacterias fijadoras de N, principalmente del género Rhizobium, obtienen este elemento con un costo reducido (Urzúa, 2005). D'Attellis (2005), indica que la alfalfa es un cultivo que permite aumentar la carga animal, mantener el stock, mejorar la ganancia en peso o el rendimiento en producción individual de leche. Se constituye en la base de la oferta forrajera como un forraje posible de ser cosechado y conservado como reserva forrajera. Por otra parte, no limita a los sistemas de alta productividad, reduce costos variables, aumenta la estabilidad de producción, y, bien manejado, no extrae del sistema uno de los recursos más escasos, como el N edáfico, sino que, por el contrario, incorpora materia orgánica y recupera la fertilidad del suelo. Todos estos atributos mencionados la convierten en una especie esencial para muchos sistemas de producción agropecuaria, desde los intensivos a

corral que la incluyen en la dieta animal como forraje cosechado y procesado, es decir, como reserva forrajera (Zubizarreta, 1992), hasta los pastoriles, en menor proporción, que la utilizan en pastoreo directo (Roberto y Viglizzo, 1993). La dimensión real de su valor surge cuando se considera, además, el papel de esta leguminosa en la sustentabilidad de los sistemas de producción, por su función en la recuperación de la fertilidad y estabilidad edáfica (Pordomingo, 1995).

### 1.2.2. Evolución de la superficie de siembra

La estimación de la superficie mundial sembrada con este cultivo era de 32 millones de ha en el año 1988 (Sardiña *et al*., 2015). Para el año 2013, la superficie mundial ocupada por alfalfa era alrededor de 12,5 millones de ha con una producción de 324,5 millones de T (FAOSTAT, 2015). Es decir que en 25 años se produjo una reducción del 61 % de la superficie sembrada, dado principalmente por el proceso de agriculturización.

La superficie implantada con este cultivo ha ido variando a través del tiempo en nuestro país. Primeramente, se cultivó en la región cuyana (Mendoza y San Juan) y años más tarde en Córdoba. Su llegada a la provincia de Buenos Aires se produjo a mediados del siglo XVIII. El record histórico de superficie implantada se presentó en el 1921/1922 con 8 millones de ha, desde entonces la evolución de la superficie con alfalfa en Argentina experimentó variaciones muy marcadas con un mínimo de 3 millones de ha en 1972/1973 debido a problemas de persistencia y producción y a la aparición del pulgón verde de la alfalfa (*Acyrthosiphon pisum* Harris) que produjo pérdidas muy importantes en el cultivo (Hijano y Basigalup, 1995) y en 2002 con 3,5 millones de ha implantadas con alfalfa (Basigalup *et al*., 2007). En los años 1996/1997 la superficie con alfalfa en la Argentina, sea pura o consociada con otras forrajeras, era de poco más de 7 millones de ha. A partir de 1998/ 1999 comienza a registrarse un descenso del área de siembra, debido a la baja rentabilidad del sector ganadero, fundamentalmente de la actividad lechera en particular. Esta disminución alcanzó el 31 % desde el año 1996 hasta el año 2001 (Picca y Devoto, 2004). Las alfalfas puras constituían el 21,5 % del área sembrada en 1996, pasando a ser aproximadamente el 35 % entre 1999 y 2001 estimando a futuro una proporción de alfalfas puras cercanas al 50 % del área total del cultivo. La distribución de este cultivo en el país durante el periodo comprendido entre los años 1996 y 2001, era del 46,2 % en la provincia de Buenos Aires, el 23,6 % en Córdoba, el 15,8 % en Santa Fe, el 10,7 % en La Pampa y el 3,7 % en Entre Ríos. Los cambios en el escenario político económico nacional de los años 2000, hicieron que, en las zonas mixtas de la Región Pampeana se experimentara una notoria preferencia por el cultivo de soja en detrimento de las actividades ganaderas. Durante

el 2004, las buenas perspectivas para la producción ganadera se tradujeron en una mayor demanda de semilla de alfalfa para la siembra de nuevas pasturas, siendo para ese año la superficie alfalfada de 4,7 millones de ha. En el 2005 la superficie con alfalfa fue de alrededor de 5 millones de ha (Basigalup *et al.*, 2007*).*

En los últimos años, el cultivo se ha mantenido, pasando de 3 millones de ha entre 2002 y 2005 a 4,5 millones de ha en 2011. La superficie implantada con alfalfa se concentra en la provincia de Buenos Aires, seguido por Córdoba, Santa Fe, La Pampa y Entre Ríos, representando el 90 % de la superficie cultivada (Odorizzi, 2015).

Para el año 2017, el área con alfalfa se estimó en más de 3,2 millones de ha., 60% de los cuales son cultivos puros y 40% en mezcla con gramíneas templadas. Comparado con años anteriores se aprecia una leve reducción de la superficie, relacionada con la situación complicada del sector lácteo y con las condiciones de anegamiento y ascenso de napas que sufren varias zonas de la Región Pampeana, que retrasaron la reposición de lotes perdidos o impidieron la siembra de nuevos cultivos (Arolfo y Odorizzi, 2016). Relacionado a factores tanto internos como externos, es factible que a mediano plazo esta superficie se incremente, especialmente como cultivo puro para la producción de heno (Odorizzi, 2015). En la provincia de Córdoba, según el censo Nacional Agropecuario 2008, la superficie ocupada con alfalfa era de 562.853 ha de un total de 1.055.375 ha, siendo para el departamento Río Cuarto de 63.442 ha (Censo Nacional Agropecuario, 2008).

### 1.2.3. Caracterización de la especie

#### 1.2.3.1. Descripción botánica

La alfalfa pertenece a la familia de las leguminosas. Se trata de una planta perenne, herbácea y de porte erecto. Posee una corona, de la cual emergen brotes de renuevo. Las hojas son trifoliadas, aunque la primera hoja verdadera es unifoliada. Las flores son de color azul, púrpura o blanco, con inflorescencias en racimos que nacen desde las axilas de las hojas. El fruto es una legumbre indehiscente (vaina en espiral) que contiene entre 2 y 6 semillas de 1,5 a 2,5 mm, amarillentas y arriñonadas (Rodríguez y Spada, 2007).

Las plántulas de alfalfa emergen con dos cotiledones, posteriormente se produce una hoja unifoliada, seguido por hojas alternas trifoliadas pinnadas. La planta varía en altura de 40 a 90 cm, y presenta de 5 a 20 o más tallos erectos que emergen de yemas basales y axilares de la corona conforme maduran los tallos o son cosechados; aunque también pueden emerger algunos tallos cortos durante todo el desarrollo de la planta, e inclusive durante la floración y llenado de vainas. El sistema radical consiste de una raíz pivotante, que en condiciones

favorables puede alcanzar hasta 9 metros de profundidad. Las flores de la alfalfa nacen en racimos oblongos multifloros sobre pedúnculos no aristados. La semilla, está constituida por el funículo, el tegumento, el embrión y el albumen. El tegumento o testa es la capa externa que rodea el embrión y le brinda protección. El embrión originará la futura plántula; en el mismo se pueden observar la radícula, el hipocótilo, la plúmula y los cotiledones. La radícula, que durante la germinación emerge a través de la micrópila, formará la raíz. En sentido contrario, el epicótilo dará origen a las partes aéreas de la plántula. Por su parte la plúmula, que es un esbozo formado por hojas, al desarrollarse originará el tallo. Los cotiledones, gruesos y carnosos, almacenan la mayor parte de su tejido de reserva para el desarrollo del embrión. Por último, el albumen es un tejido de reserva que, en el caso de la alfalfa, se encuentra reducido y cuya función principal es facilitar el proceso de germinación (Basigalup, 2007).

#### 1.2.3.2. Cultivares y panorama varietal

La elección de un cultivar de alfalfa implica considerar características tales como: reposo invernal, resistencia a plagas y enfermedades, producción de MS y persistencia (Spada, 2007).

La alfalfa, si bien es una especie perenne, su persistencia, al igual que en la mayoría de las leguminosas y gramíneas empleadas en pasturas cultivadas, tiene una duración acotada en el tiempo; el GRI del cultivar, las plagas, las enfermedades, las malezas, las condiciones hídricas, la fertilidad del suelo y manejo del cultivo bajo pastoreo o corte mecánico, son los principales factores responsables de esta situación (Rossanigo *et al*., 1995).

El reposo invernal es una característica genética de la alfalfa por la cual, en respuesta a la disminución del fotoperíodo y a las bajas temperaturas de otoño-invierno, las plantas reducen su crecimiento, previa acumulación de reservas de hidratos de carbono en la raíz y corona. Estas reservas facilitan el rebrote en la primavera tan pronto como cesan las condiciones rigurosas del clima frío y se alargan los días (Mckenzie *et al*., 1988). Esos factores ambientales desencadenan un proceso de aclimatación que permite la supervivencia de las plantas hasta tanto se reinstalen las condiciones ambientales apropiadas para volver a crecer y desarrollarse. Durante este período de aclimatación, se produce una acumulación de hidratos de carbono y compuestos nitrogenados en la raíz y la corona que posibilitarán el reinicio del crecimiento en primavera (Spada *et al*., 2007).

En Argentina, cuando se inscribe un nuevo cultivar a través del Instituto Nacional de Semillas (INASE), el mismo debe aportar datos sobre su GRI en comparación con cultivares

testigos. En la Tabla 1 se presentan los cultivares testigos definidos por el INASE, pertenecientes a los diferentes GRI (Spada, 2007).

**Tabla 1.** Grupos de reposo invernal (GRI) y cultivares testigo definidos por el INASE para la clasificación del reposo invernal de las variedades de alfalfa. Año 2007.

| Grupo de reposo | GRI | Cultivares Testigos |
|---|---|---|
| Con Reposo | 1 | Norseman - Splendor 2 |
| | 2 | Vernal - Alfagraze |
| | 3 | Painé INTA - Dekalb 120 |
| | 4 | WL 430 - Cimarron |
| | 5 | P205 – Cimarron VR |
| Reposo Intermedio | 6 | WL 611 - Victoria sp INTA |
| | 7 | P 105 - Dekalb 170 |
| Sin Reposo | 8 | WL 516 - Dekalb 187 |
| | 9 | Cuf 101 - 5929 |
| Extremadamente sin Reposo | 10 | WL 1058 - Hejazi |
| | 11 | Ne NAF 3 |

Los cultivares con reposo (GRI 1-5) detienen su crecimiento en otoño, a medida que se acorta el día y disminuye la temperatura, como un mecanismo de protección contra el frío y las heladas. En contraste, los cultivares sin reposo están menos subordinados al fotoperíodo y continúan su crecimiento mientras la temperatura se mantenga por encima de 5 ºC (Poole *et al.*, 2003). En este tipo de cultivares, al no activarse los procesos de aclimatación, las plantas continúan creciendo en otoño y por lo tanto, al no acumular suficientes sustancias de reserva en la raíz y en la corona, son afectados por las bajas temperaturas invernales. En igual sentido, Marble (1988), considera que los cultivares sin reposo son dañados por temperaturas inferiores a -1 ºC; en consecuencia, se recomienda la utilización de estos últimos sólo en áreas templadas, mientras que las plantas con reposo invernal no son afectadas por heladas, y por su parte, el comportamiento de los cultivares de reposo intermedio se ubican entre ambos extremos.

Los cultivares de diferente GRI responden de forma distinta al fotoperíodo y a la temperatura, ya que los cultivares GRI 1-3 son más sensibles a cambios de longitud del día y temperatura que los de GRI 7-9 (Teuber *et al*., 1995).

En cuanto a la persistencia, existe una relación inversa entre GRI y la misma, resultando más longevos aquellos cultivares con mayor reposo invernal (Bobadilla, 2002), aunque todo dependerá del correcto manejo realizado durante su cultivo. La estructura de la planta resulta diferente, los cultivares de GRI intermedios poseen mayor tamaño de corona y número de tallos por planta que los sin reposo. En los cultivares de GRI 8 y 9, los tallos son de crecimiento erecto y en pocas oportunidades superan los 70 cm de altura. Las plantas de los cultivares de mayor

reposo tienen, en sus primeras etapas de desarrollo, un crecimiento semirrastrero de sus tallos para luego crecer en forma más o menos erecta y alcanzar alturas de hasta 85 a 90 cm (Rossanigo y Meneghetti, 1991).

Existe una relación lineal entre GRI y tasa de desarrollo, lo que determinaría que los cultivares con reposo tienen un desarrollo más lento que los sin reposo (Busbice y Wilsie, 1965). No obstante, Hall *et al*. (2000), no encontraron diferencias en estados de madurez entre cultivares de GRI 2 y 4 con similares días de crecimiento. Resultados muy semejantes se registraron en la Región Central de Córdoba cuando se compararon cultivares de GRI 6 y 9; complementariamente, en ese mismo estudio se verificó que para ambos GRI el desarrollo fenológico fue más rápido bajo condiciones de deficiencia hídrica (estrés) que bajo condiciones favorables de humedad (Spada, 2007).

Otra diferencia importante entre los cultivares de distinto GRI, es la distribución de forraje a lo largo del año, aun cuando la producción total sea similar. Cultivares de GRI 8 y 9 producen preferentemente forraje en invierno y otoño, mientras que los cultivares de los grados 4, 5 y 6, concentran la producción de forraje en la primavera y resultan ser apropiados para esquemas de corte o de producción de forrajes conservados (Rossanigo y Meneghetti, 1991). Esa diferencia entre los grupos en cuanto a la distribución estacional de la producción de forraje, se debe a que los cultivares con reposo detienen su crecimiento en otoño-invierno, a diferencia de las variedades sin reposo que presentan una estación de crecimiento más extendida y, por ende, un período de utilización más amplio en el tiempo. No obstante, la expresión del potencial de distribución estacional del rendimiento de forraje que cada cultivar posee, está altamente influenciada por las condiciones ambientales donde se lo cultive (Spada, 2007).

La distribución estacional de producción de MS de cultivares con reposo intermedio y sin reposo fueron analizados por Spada (2003), en la serie de ensayos 1998/2002 de la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA, considerando la información producida en tres localidades agroecológicamente diferentes: Anguil (zona semiárida), Marcos Juárez (zona subhúmeda) y Rafaela (zona húmeda). Como puede observarse en la Figura 1 A y B, en Marcos Juárez y Rafaela el ciclo de crecimiento de ambos GRI incluyó el invierno; en la zona semiárida esos mismos cultivares no registraron crecimiento invernal, aun para el grupo sin reposo.

En Anguil, la distribución de la producción entre estaciones climáticas fue similar para ambos grupos de reposo. Por el contrario, en Marcos Juárez y Rafaela los cultivares sin reposo acumularon comparativamente más forraje en primavera que en verano, mientras que en los de reposo intermedio la producción estival fue comparativamente más importante que la primaveral. Estos resultados indicarían que el crecimiento de los grupos de reposo no sólo está

afectado por el fotoperíodo y las temperaturas, sino también por las condiciones de humedad disponibles en las distintas áreas de cultivo.

En relación a esto último, se ha observado en Manfredi (zona semiárida) que la escasez de precipitaciones en invierno e inicio de la primavera, además de las bajas temperaturas, impiden a los cultivares de menor grado de reposo expresar completamente su potencial genético de mayor distribución de la producción, a punto tal que tanto las variedades de GRI 4 y 6, como las de GRI 8 y 10 concentran su producción en primavera-verano, con escasas diferencias entre grupos de reposo. Además es posible observar que en los cultivares de GRI 6, 8 y 10, la producción primaveral es más importante que la estival, en tanto que en los cultivares de mayor reposo invernal (GRI 4) sucede lo contrario (Spada, 2007).

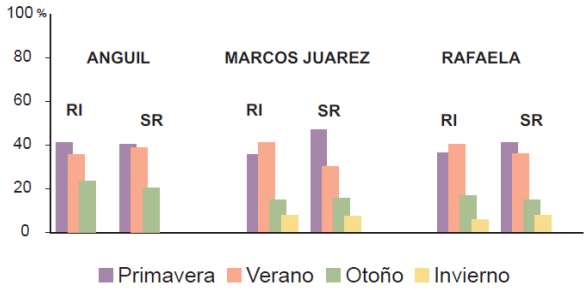



**Figura 1 A.** Distribución estacional de la producción de forraje de cultivares de reposo invernal intermedio y sin reposo evaluados en tres localidades de la Región Pampeana: Anguil (Semiárido), Marcos Juárez (Subhúmedo) y Rafaela (húmedo) durante el periodo 1998-2002 (Spada, 2003 y Spada, 2007).

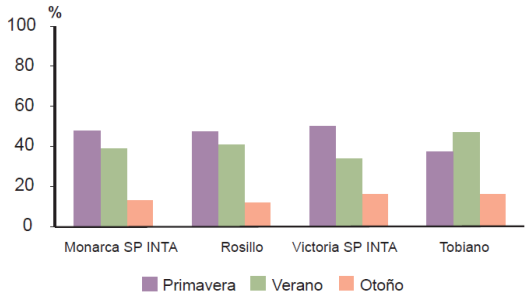



**Figura 1 B.** Distribución estacional de la producción de forraje de cuatro cultivares de alfalfa con distinto grado de reposo invernal: Tobiano (GRI 4), Victoria SP INTA (GRI 6), Monarca SP INTA (GRI 8) y Rosillo (GRI 10) en la EEA Manfredi durante el periodo 2000-2003 (Spada, 2003 y Spada, 2007).

Los cultivares sin reposo invernal se utilizan en los sistemas pastoriles de producción lechera e invernada intensiva y también en la producción de heno bajo riego en las regiones del NOA y Cuyo. Los cultivares con reposo invernal moderado se prefieren para la producción de carne o producción de heno en muchas zonas de la Región Pampeana (Basigalup *et al.*, 2007).

Como consecuencia del mejoramiento genético, existe una evolución de los cultivares sin reposo invernal, en las series 2002/2004/2006 de la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA. Estos alcanzaron la misma persistencia promedio que los cultivares de reposo intermedio, pero con una mayor producción acumulada promedio para toda la Red (53,26 vs 40,67 t MS $ha^{-1}$, respectivamente). En lo referente a la distribución de la producción durante la temporada y a las tasas de crecimiento (kg MS $ha^{-1}$ $día^{-1}$), no existen mayores diferencias entre los grupos de reposo intermedio y sin reposo invernal. Las mayores diferencias se deben a condiciones ambientales más que a características varietales. Por ejemplo, mientras que en Manfredi (secano) y Santiago del Estero (riego) es más importante la producción de MS en

primavera respecto de la de verano en todos los grupos de reposo, en Paraná (secano) las producciones de primavera y de verano tienen prácticamente la misma importancia. No obstante, en esas tres áreas, la producción (total y estacional) de los cultivares con reposo invernal, es inferior a la de los grupos intermedio y sin reposo (Basigalup, 2014).

Entre los GRI que se utilizan en Argentina, el 26 % de los cultivares tienen reposo invernal (GRI 6-7) y el 74 % no lo tienen (GRI 8 a 10). La tendencia para el futuro inmediato es un aumento significativo en el uso de variedades sin reposo (Odorizzi, 2015). El grupo de mayor reposo invernal (GRI 5) se concentra solo en las partes más australes de la Región Pampeana y Patagonia (Arolfo y Odorizzi, 2016).

### 1.2.4. Requerimientos edafoclimáticos

La alfalfa es una especie de gran plasticidad, que puede prosperar en regiones semiáridas, subhúmedas y húmedas. Las etapas iniciales de implantación de alfalfa son fundamentales para lograr un adecuado crecimiento, desarrollo y producción de este cultivo, por lo que es fundamental conocer sus requerimientos edafoclimáticos, ya que se considera que luego de superada la etapa de implantación, la alfalfa está morfológica y fisiológicamente adaptada para tolerar condiciones adversas, tales como sequías de cierta duración (Romero *et al*., 1995).

En Argentina, la alfalfa se cultiva principalmente en la Región Pampeana. El 90 % de la producción se localiza entre los paralelos 30-40°S y los meridianos 58-65°W. Córdoba es la principal provincia en donde se realiza alfalfa pura, en tanto que Buenos Aires, alfalfas consociadas con gramíneas anuales o perennes. Como especie pura o consociada, la alfalfa integra el 58 % del total de forrajeras de la Región Pampeana. En esta área, la alfalfa se cultiva casi exclusivamente en condiciones de secano. Los rendimientos promedio en forraje obtenidos en parcelas de cultivos puros, correspondientes a la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA, fluctuaron entre 8 t MS $ha^{-1}$ $año^{-1}$ en Anguil y 20,5 t MS $ha^{-1}$ $año^{-1}$ en Marcos Juárez. Esta elevada variabilidad en la producción de forraje, independientemente del tipo de suelo, se puede atribuir en gran medida a la variación en la disponibilidad de agua, radiación y temperatura. Por lo tanto, la producción de forraje estará condicionada principalmente por la captura de los recursos agua y radiación solar, y por las condiciones de temperatura, que pueden ejercer algún grado de limitación en la eficiencia de uso de aquellos recursos. Siendo un cultivo perenne, las prácticas de manejo para mejorar la captura de recursos ambientales que se aconsejan para cultivos anuales, como por ejemplo el cambio de la fecha de siembra y de la duración del ciclo y/o el uso del barbecho, no son aplicables a la alfalfa. Sin embargo, el

conocimiento de la dinámica en la utilización de esos factores permitirá determinar, por ejemplo, la variedad a utilizar o los riesgos asociados a la producción de la alfalfa en una determinada región (Basigalup *et al*., 2007).

#### 1.2.4.1. Suelo, agua y nutrientes

En el país, el cultivo de alfalfa se realiza mayoritariamente bajo condiciones de secano, pudiendo producir entre 8 y 22 t MS $ha^{-1}$ $año^{-1}$, dependiendo de la disponibilidad hídrica del año, radiación, fertilidad regional y temperatura, además de otros factores (Hijano y Basigalup, 1995).

Para una alta producción de forraje, la alfalfa requiere suelos profundos (>1,2 m), bien aireados, de reacción más bien neutra (pH 6,5 a 7,5) y buena fertilidad -especialmente fósforo (P) y, en menor proporción azufre (S)-. A medida que las condiciones reales se alejen de este marco ideal, el cultivo disminuye su rendimiento y su persistencia (Basigalup *et al*., 2007). La profundidad del suelo permite que la planta desarrolle su extenso sistema de raíz pivotante, capaz de utilizar agua y nutrientes de un gran volumen de suelo. Un suelo poco profundo (< 0,7 - 1,0 m) o la presencia de tosca o endurecimiento subsuperficial, restringirán el crecimiento de raíces y por ende la productividad. Un buen drenaje de suelo es importante, ya que es una especie muy sensible a la falta de oxigenación que ocurre con el anegamiento del suelo. En estado de plántula un anegamiento de 36 horas es letal (Cangiano, 2002).

Ante condiciones de secano, los cultivos pueden ver afectada la eficiencia con la que capturan los recursos radiación y agua para la producción de MS (Collino *et al*., 2007 a). La producción potencial de forraje requiere de una disponibilidad no limitante de agua para satisfacer la transpiración del cultivo. Se define como rendimiento potencial de forraje, en un determinado ambiente, a aquel que se puede obtener sin limitantes bióticas y abióticas controlables (plagas, deficiencia de nutrientes y agua, etc.) pero bajo las condiciones de radiación y fotoperiodo de ese ambiente (Odorizzi, 2015).

Los requerimientos hídricos dependen de la pérdida evaporativa, que está regulada por factores ambientales (temperaturas, vientos, humedad relativa) y morfológicos (número y tamaño de estomas, área foliar, estructura de la planta) (Romero *et al.*, 1995). En la Región Pampeana la disponibilidad de agua es el principal factor limitante para la producción de forraje en secano. La alfalfa consume agua durante todo el año, aún durante el reposo invernal, generando una demanda evapotranspiratoria mayor que un sistema de cultivos anuales, en donde siempre existen períodos de barbecho (Collino *et al*., 2007 b). El máximo potencial de producción de alfalfa se alcanza con 1.200 mm anuales en promedio (Dorenboos y Kassam,

1979), situación alejada de la que se presenta en la región semiárida central de nuestro país, donde el aporte de agua por precipitaciones efectivamente infiltradas, es de aproximadamente 640 mm. En ese contexto, la utilización de riego suplementario puede constituir una herramienta de gran utilidad para que el cultivo satisfaga sus demandas de agua y se acerque a la producción potencial de forraje (Odorizzi, 2015). En un cultivo como la alfalfa, cuya duración promedio en buenas condiciones de manejo es de 4 años (Rossanigo *et al*., 1995), el agua almacenada en el suelo sólo tiene una influencia relevante durante el primer año de vida. Por lo tanto, el suministro de agua para el cultivo, considerando su ciclo en conjunto, son las precipitaciones y el agua disponible en el perfil.

En algunos casos, habrá que considerar también el aporte de la napa freática, en particular porque el sistema radical puede alcanzar profundidades de hasta 6 m a partir del segundo año de implantación (Borg y Grimes, 1986). En síntesis, las condiciones ambientales van a influir directamente en el crecimiento y la calidad de la alfalfa.

La necesidad de nutrientes varía con las épocas del año, siendo mayor en los picos de producción primavero-estivales. Esta leguminosa requiere altas concentraciones de N, que es aportado mayoritariamente por la acción de los *Sinorizobium meliloti*, que lo fijan a partir del existente en el ambiente. El elemento más importante para el cultivo es el P, determinante para un establecimiento exitoso y buen desarrollo radicular. En la Argentina existen zonas con marcado déficit de nutrientes, presente en cantidades de P inferiores a 18 ppm lo que torna necesario la práctica de la fertilización. El potasio (K) es esencial para mantener altos rendimientos, aumentar la tolerancia al frío, lograr mayor resistencia a ciertas enfermedades e incrementar la persistencia. El calcio (Ca), magnesio (Mg), S y la mayoría de los micronutrientes son igualmente necesarios para un normal crecimiento de la planta de alfalfa (Romero *et al.,* 1995). La alfalfa requiere pequeñas cantidades de micronutrientes para su crecimiento óptimo -boro (B), manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo)-. De ellos el único que se suministra o aplica con cierta frecuencia en alfalfa es el B (Collino *et al.,* 2007 b).

Los nutrientes, necesarios para la alfalfa, están disponibles en un rango de pH que varía de 6,8 a 7,5. Las plantas estarán bien nutridas y por lo tanto tendrán mejor comportamiento frente a las enfermedades y una mayor producción de pasto. Con el sistema radicular secundario, la alfalfa absorbe los nutrientes de la capa superficial del suelo. La actividad en esta zona del suelo es tal que la alfalfa toma el 70-80 % de los nutrientes de los primeros 20 a 30 cm del suelo. Cuando el pH es bajo, el P, en forma de fosfato es atraído y fijado al suelo por minerales como el Fe y el aluminio (Al), en formas de óxidos e hidróxidos (Rotondaro, 2014).

La acidez del suelo afecta la actividad de las bacterias simbióticas fijadoras de N atmosférico, ya que estas toleran hasta pH 6. Las bacterias toman el N del aire y lo convierten en N asimilable para la alfalfa. En esta asociación simbiótica, la alfalfa provee hidratos de carbono necesarios para la supervivencia y actividad de las bacterias, a cambio del N que las bacterias le proveen a la planta. Con pH bajo hay muy poco desarrollo de las raíces secundarias y por lo tanto no hay posibilidades que la bacteria inocule a la planta (Cangiano, 2002).

#### 1.2.4.2. Clima

**Temperatura**

Las semillas de alfalfa, pueden germinar en un rango de temperaturas que van desde los 5 °C hasta los 35 °C. La germinación comienza poco después de la siembra, con temperaturas del suelo de aproximadamente 18 °C y adecuada humedad. No se produce germinación cuando las temperaturas del suelo están por debajo de 1,7 °C o por encima de 40 °C. La absorción de agua por la semilla es el primer paso en el proceso de germinación y se lleva a cabo cuando la humedad está presente en cantidades suficientes como para penetrar la cubierta de la semilla (Teuber y Mueller, 2007).

Durante el estudio del crecimiento y desarrollo de las plántulas de alfalfa, Pearson y Hunt (1972), descubrieron que las tasas de aumento de peso seco y área foliar fueron mayores a 20/15 °C que a 30/25 °C lo mismo que la tasa de expansión de las hojas fue mayor, pero el número de hojas producidas por unidad de tiempo, o área, fue inferior a 20/15 °C que a 30/25 °C.

La temperatura puede afectar en gran medida el crecimiento de las plantas de alfalfa, la productividad y su distribución. La temperatura óptima para el crecimiento de alfalfa es de aproximadamente 20 °C (Craufurd *et al*., 2002), al elevarse la temperatura a partir de los 4 °C se promueve la tasa de fotosíntesis y por lo tanto la acumulación de MS, pero aumentando más la temperatura por encima de 20 °C se afecta el crecimiento de la alfalfa. El crecimiento y desarrollo de alfalfa es más afectado por altas que por bajas temperaturas. Durante las últimas décadas, se realizaron investigaciones para conocer las razones por las que alfalfa no puede crecer a altas temperaturas. Se creía que las altas temperaturas bajaban la tasa de fotosíntesis, destruían estructuras de la membrana plasmática y por lo tanto aceleraban los procesos de envejecimiento de la alfalfa (Aranjuelo *et al.,* 2007).

Poco se conoce sobre el efecto de la temperatura en alfalfa a nivel enzimático o molecular que puedan explicar la razón por la que esta especie es tolerante al frío, pero no al calor. Esto es muy importante de conocer, para poder lograr su producción en zonas tropicales.

Yiwei *et al. (*2011) demostraron que la sacarosa desempeña un papel positivo en la protección de las células a lesiones ocasionadas por bajas o altas temperaturas en hojas de alfalfa. La sacarosa tiene un efecto significativo en el aumento del potencial osmótico, haciendo que más agua sea transportada de otras partes de la planta, tales como tallos o raíces a las hojas. Las bajas temperaturas (5 ºC) aumentan el nivel de sacarosa en las hojas de alfalfa, con lo que se logra un aumento en el potencial agua, permitiendo un mayor transporte de agua, especialmente de las raíces a las hojas. Un mayor potencial de agua en las hojas, beneficia la integridad de la membrana celular. Con altas temperaturas (35 ºC) se produce un aumento en el contenido de sacarosa, pero se pierde inevitablemente una importante cantidad de agua debido a la alta tasa de transpiración. Por lo tanto, las temperaturas más bajas generan un mayor nivel de sacarosa y una baja tasa de transpiración lo que puede explicar por qué la alfalfa es tolerante al frío pero sensibles al estrés por calor.

**Radiación y Fotoperiodo**

La producción de forraje está relacionada a la radiación ya que va a depender de la cantidad de radiación que el cultivo sea capaz de interceptar y la eficiencia con que utilice a la misma para generar biomasa aérea (hoja y tallo). Estos parámetros pueden disminuir por temperaturas limitantes para la fotosíntesis y por condiciones que favorezcan la acumulación de carbohidratos en estructuras de reserva en la corona y porción superior de las raíces (Heichel *et al*., 1988). Además, la eficiencia se da con diferente intensidad según el GRI y afecta la distribución estacional de la MS, pero no la producción anual de forraje. La alfalfa es una especie cuantitativa de día largo, que tiende a florecer más rápidamente con fotoperiodos largos; por lo tanto, durante los períodos del año con días más cortos, requiere mayores sumas térmicas para llegar al momento de corte (Odorizzi, 2015).

El fotoperiodo y la temperatura del suelo influyen en el desarrollo de plántulas de alfalfa, ya que afectan la tasa de crecimiento y la asignación de los productos de la fotosíntesis al desarrollo de raíces y tallos. No todos los cultivares responden igualmente a estos desencadenantes ambientales. El desarrollo de las plántulas de cultivares con reposo está influenciado por el fotoperiodo y la temperatura del suelo, mientras que el desarrollo de plántulas de cultivares sin reposo, es más independiente del fotoperiodo, pero está fuertemente influenciada por la temperatura del suelo. El efecto del fotoperiodo en el crecimiento de las plántulas puede influir en las decisiones de fechas de siembras. Las temperaturas óptimas para el desarrollo de plántulas de alfalfa están en el rango de 20 °C a 22 °C, dependiendo del GRI del cultivar. Durante las primeras 4 semanas de la germinación, la temperatura óptima de suelo

para el crecimiento de la raíz es ligeramente más alta, 21 °C a 24 °C. Los cultivares con reposo invernal, generalmente tienen temperaturas óptimas más bajas durante esa fase inicial de crecimiento, que en cultivares sin reposo. La formación de brotes iniciales de corona y tallos de las axilas de los cotiledones así como las hojas unifoliadas y la corona primaria, se estimulan con un fotoperiodo de aproximadamente 12 horas. Fotoperiodos cortos, menores de 12 horas, asignan fotosintatos para el desarrollo de las raíces. Por lo tanto, con retrasos en las siembras de otoño, las plántulas se desarrollan bajo enfriamiento y acortamiento de los días. Ante estas condiciones, las plantas puedan desarrollar más rápidamente la corona y un sistema de raíces más grandes que las plantas que se desarrollan en condiciones más cálidas y con aumento de la longitud del día asociados con siembras de primavera y verano (Mueller y Teuber, 2007).

### 1.2.5. Época de Siembra

La germinación, emergencia y establecimiento de las plántulas de alfalfa están influenciados, entre otros factores, por la época en que se realiza la siembra. Esta debe coincidir principalmente con el momento en que se presentan condiciones adecuadas de humedad y temperatura del suelo y menores riesgos de aparición de malezas y plagas. Además, se debe considerar una adecuada preparación de la cama de siembra, la temperatura del aire en el momento de desarrollo de las plántulas, la longitud del día y las variaciones climáticas y microclimáticas entre diferentes sitios (Becker, 2004).

Para cada región, la temperatura y la humedad del suelo, conjuntamente con la radiación, son los factores que definen la época de siembra más adecuada. La alfalfa germina en un rango muy amplio de temperatura, desde 5 a 35 °C, ubicándose el óptimo entre 19 y 25 °C (Romero, 2016). Por lo tanto, ante buenas condiciones de humedad edáfica, la semilla de alfalfa germina con temperaturas relativamente bajas, demorando más días para alcanzar un 75 % de germinación a medida que las temperaturas descienden (Cangiano, 2002).

La alfalfa tiene dos épocas de siembra probables. Una es en otoño (febrero, marzo, abril), donde las plántulas se desarrollan con temperaturas en disminución y fotoperiodos cortos. En estas condiciones, las plántulas tienen la posibilidad de formar rápidamente una corona y un sistema radical más desarrollado, comparadas con la otra época de siembra que es en primavera (septiembre) donde las plántulas se desarrollan en condiciones más cálidas y fotoperiodos más largos, mayores a 12 horas (Mueller *et al*., 2007). En la mayor parte de la Región Pampeana las condiciones favorables para el establecimiento de la alfalfa se presentan en otoño, pero considerando los requerimientos de temperatura y humedad para la germinación y desarrollo de la misma, la primavera sería una época alternativa de siembra. En regiones con

lluvias bien distribuidas a lo largo del año y menores temperaturas en primavera, como el sudeste bonaerense, permitirían lograr siembras exitosas de alfalfa en primavera (agosto-septiembre-octubre) (Vorano *et al*., 1975). Sin embargo, los procesos de crecimiento y desarrollo de las plántulas en esta época son muy distintos a los observados en las siembras otoñales, por lo cual, en las siembras de primavera es necesario prestar especial atención a algunos factores que deben ser controlados por el productor como ser, el control de malezas, la carga animal o pastoreo y el manejo de la pastura durante el verano, entre otros para obtener similares resultados a las siembras otoñales (Romero, 2016).

En siembras otoñales de alfalfa, Cangiano (1991, 1994), encontró severas muertes de plantas por *damping-off* a partir de los 30-60 días de la siembra, a medida que las condiciones ambientales y edáficas se tornan más frescas y húmedas; los cultivares sin reposo invernal serían los más sensibles.

Las grandes diferencias de temperatura y humedad en el suelo y aire al momento de la siembra en distintas regiones del país, asociadas a los distintos requerimientos térmicos de las variedades según el GRI, hacen necesario determinar la fecha de siembra óptima para cada región y cada tipo de alfalfa (Romero *et al*,. 1995). En función de lo mencionado anteriormente, se pone de manifiesto que, si se cuenta con una buena provisión de humedad en el suelo al momento de la siembra, se usa semilla de calidad, se utiliza una máquina sembradora eficiente, se logra un buen control de las malezas y se efectúa un correcto manejo de la forrajera en función de las características de crecimiento de la alfalfa en este período de menor desarrollo inicial de las raíces, se podrán lograr pasturas productivas sembradas en primavera. Esto permitirá ganar tiempo en la entrada en producción de esos lotes y mejorar la oferta de pasto de la primavera y el verano (Romero, 2016).

### 1.2.6. Establecimiento

Los aspectos relacionados con el manejo del cultivo de alfalfa, requieren una comprensión del crecimiento y desarrollo del mismo. El conocimiento básico de las características botánicas, sus patrones de crecimiento y sus etapas de desarrollo son claves para lograr un stand de plantas saludable y productivo, así como la calidad de la pastura y su duración en el tiempo (Mueller *et al*., 2007).

El número de plantas de alfalfa logradas inicialmente es uno de los aspectos que más influye sobre la longevidad y producción de un alfalfar. Un pobre establecimiento tiene efecto directo sobre el número y supervivencia de las plántulas logradas, favorece la instalación de especies no deseadas e influye en el rendimiento del forraje producido. Por eso, en primer lugar,

es deseable conocer cuáles son las condiciones básicas necesarias para efectuar la siembra, limitar los riesgos de fallas de germinación y de emergencia y lograr la instalación del mayor número posible de plántulas por metro cuadrado (Becker, 2004).

La alfalfa desde siembra hasta el primer año se encuentra en fase de implantación, en la cual se diferencian dos etapas, una comprende la siembra, germinación y emergencia de cotiledones y la otra abarca el inicio del crecimiento y desarrollo de la planta (Bobadilla, 2002). Estos no son procesos simples, ya que, junto a los requerimientos edáficos, hídricos y nutricionales, interactúan numerosos factores, tales como la temperatura y humedad del suelo (estrechamente asociada a la época de siembra), la calidad física y genética de la semilla, la eficiencia de la maquinaria de siembra, el uso de cultivos protectoras, la preparación del suelo y el nivel de fertilidad y acidez del mismo (Romero *et al*., 1995). El fotoperiodo también juega un papel importante en estas etapas, ya que cuando es menor a 12 horas se favorece la asignación de fotosintatos para el desarrollo de las raíces y con fotoperiodos mayores a 12 horas se estimula la formación de yemas, de tallos en las axilas de los cotiledones y aparición de hojas formándose posteriormente la corona (Mueller y Teuber, 2007).

En la germinación, la semilla en contacto con el suelo comienza a embeberse de agua, lo que desencadena una serie de transformaciones que se resume en el desarrollo de una raíz (partiendo de la radícula preexistente en la semilla) y de un talluelo, que se alarga hasta sacar los cotiledones por encima de la superficie del suelo (Figura 2). Estos procesos se realizan a costa de las reservas existentes en la semilla (Rodríguez y Spada, 2007).

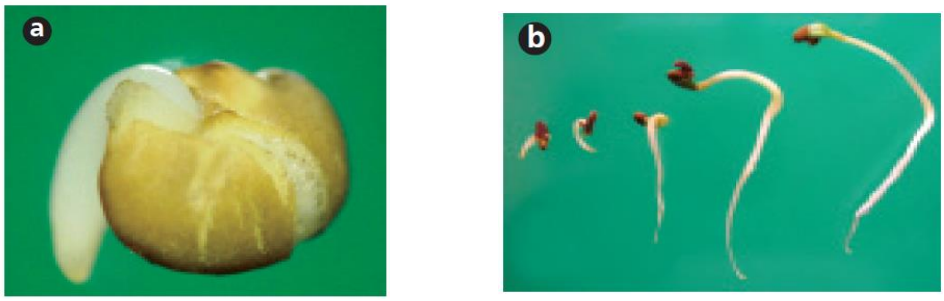



**Figura 2.** Germinación de la semilla de alfalfa: emergencia de la radícula (a) y desarrollo de la plántula, con aparición de los cotiledones (b). Fuente: Rodríguez y Spada (2007).

Para que las semillas puedan embeberse es necesario que encuentren en el suelo la humedad suficiente. Pero, un exceso de humedad puede paralizar la germinación por reducción del volumen de poros libres en el suelo. A medida que el desarrollo de la parte aérea de la plántula continúa, el talluelo se alarga y expone los cotiledones por encima de la superficie del suelo. Posteriormente, la plántula exhibe primero una hoja unifoliada y luego las hojas trifoliadas, también llamadas verdaderas (Rodríguez y Spada, 2007).

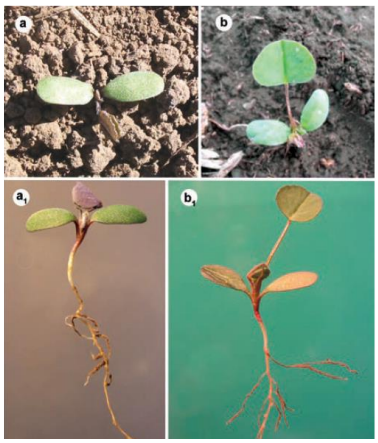


**Figura 3.** Primeras etapas de desarrollo vegetativo: cotiledonal (a y $a_1$) y hoja unifoliada (b y $b_1$) Fuente: Rodríguez y Spada (2007).

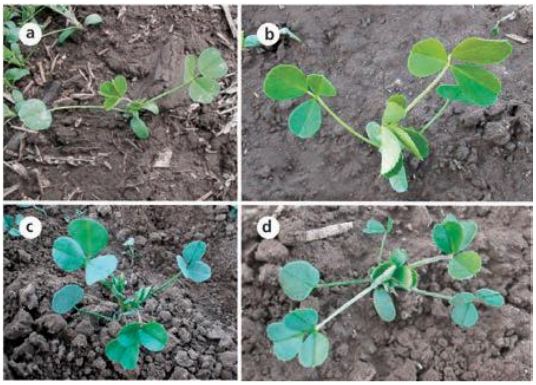


**Figura 4.** Primeras etapas de desarrollo vegetativo, con la aparición de dos (a), tres (b), cuatro (c) y cinco (d) hojas trifoliadas. Fuente: Rodríguez y Spada (2007).

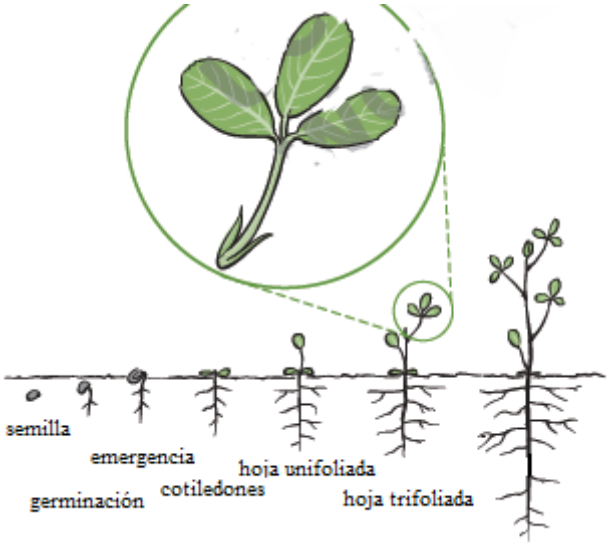



**Figura 5.** Establecimiento de alfalfa, crecimiento y desarrollo de las plántulas. Fuente: Mueller y Teuber (2007).

Una característica importante de la alfalfa, es el desarrollo temprano de la corona durante el establecimiento, la cual comienza en la primera semana después de la emergencia y normalmente se completa a las 16 semanas. Todos estos procesos están influenciados por la temperatura del suelo y, en menor medida, por el fotoperiodo. El desarrollo temprano de la corona es muy importante, ya que ésta proporciona una protección a los puntos de crecimiento de la desecación, frío o daños mecánicos. Las variedades sin reposo invernal tienden a tener un desarrollo de corona más profunda, lo que resulta en nudos por debajo de la superficie del suelo más que en las variedades con menor GRI, esto le permite una protección ante factores adversos (Mueller y Teuber, 2007).

En las etapas iniciales de desarrollo, es fundamental la protección de plántulas jóvenes de la competencia de malezas y daños por insectos así como también la protección de la corona en desarrollo. En este sentido, las siembras otoñales, permiten la formación de la corona antes de la llegada del clima frío. Coronas bien desarrolladas contienen un gran número de brotes, lo que puede dar lugar a mayores rendimientos después del corte. Durante el desarrollo de las plántulas de alfalfa, la radícula se engrosa y se convierte en la raíz primaria. Las raíces secundarias son más pequeñas y comienzan a desarrollarse de la radícula más profunda. Dentro de las 4 semanas después de la germinación, los pelos radicales de la radícula comienzan a formar nódulos producto de la fijación con bacterias *Sinorhizobium meliloti* (Mueller *et al*., 2007). Las condiciones ideales para el crecimiento de las plantas de alfalfa también son ideales para la fijación de N, es decir, un pH del suelo neutro y una humedad adecuada son dos de los factores más importantes (Cangiano, 2002).

Durante el establecimiento del cultivo, es importante permitir que las raíces penetren profundamente en el suelo, es allí donde se almacenan los hidratos de carbono producidos por la fotosíntesis. Los carbohidratos almacenados proporcionan la energía para el rebrote después del corte, la supervivencia durante el invierno y el crecimiento inicial en la primavera. Las plantas de alfalfa utilizan carbohidratos almacenados hasta que el desarrollo de la hoja es suficiente como para fotosintetizar y proporcionar la energía para el crecimiento de las plantas. Una vez que las plantas alcanzan una altura de 20 a 30 cm, se produce suficiente energía como para mantener el crecimiento y, al mismo tiempo, reponer reservas en la raíz preparándose para el próximo corte o para sobrevivir el invierno. Los procesos de crecimiento y desarrollo de la alfalfa son controlados por el potencial genético de la planta y la interacción con el ambiente; así, alfalfa no alcanza una determinada etapa de desarrollo a una edad determinada, sino que, por ejemplo, si las condiciones ambientales no activan cambios en el desarrollo morfológico que lleva a la formación de estructuras reproductivas, la planta seguirá creciendo vegetativamente. Condiciones específicas del entorno como temperatura, fotoperiodo, estado de humedad, salinidad, pueden desencadenar la transición de la planta a etapas reproductivas en una edad muy joven. A medida que las plantas maduran, se van produciendo cambios en la calidad de forraje. Los rendimientos de alfalfa aumentan a mayor madurez, mientras que el valor nutricional del forraje disminuye significativamente. Plantas de alfalfa en prebotón floral, tienen una calidad del forraje alta debido a la mayor proporción de hojas en los tallos, pero el rendimiento es bajo. A medida que la planta crece y madura, la proporción de hojas y tallos cambia. Los tallos se alargan y se vuelven más fibrosos, aumentando su proporción total en el forraje. Dentro de cualquier rebrote, las tendencias en el rendimiento y la calidad pueden ser

modificados por condiciones ambientales prevalecientes, tales como los cambios en temperatura (Mueller y Teuber, 2007).

Conjuntamente con los aspectos mencionados anteriormente, durante la planificación de la siembra de alfalfa, es necesario considerar aspectos tales como: la elección anticipada del lote, el cultivo antecesor, la fecha de siembra, el cultivar, la densidad y profundidad de siembra, ya que el objetivo de una buena siembra es obtener un adecuado número de plantas por ha. El logro de una buena implantación de alfalfa constituye la mayor parte del éxito de la producción de forraje y éste depende de la preparación del suelo, la máquina sembradora, el control de malezas, etc., en el caso de siembra convencional y en el tratamiento del rastrojo en el caso de siembra directa. El concepto que se debe manejar, es el de plantas por unidad de superficie ($m^2$) y no kg de semilla por ha (Odorizzi, 2015).

Se debe prestar especial cuidado en la preparación del suelo para la siembra de alfalfa, debido al pequeño tamaño de la semilla. Las labores deben efectuarse con la anticipación suficiente como para permitir la acumulación de agua en el perfil del suelo. Si bien la alfalfa absorbe alrededor del 70 % del agua en los primeros 30 cm de suelo, las plantas necesitan desarrollar un sistema radicular profundo, ya que en los períodos de sequía aproximadamente el 30 % del agua es extraída de profundidades cercanas a 1,5 m. El cultivo que precede a la alfalfa debe finalizar lo suficientemente temprano como para permitir humedecer el perfil del suelo con las lluvias otoño invernales y además dejar un rastrojo poco voluminoso y relativamente limpio de malezas, que permita hacer un barbecho limpio (Bobadilla, 2002).

En la zona semiárida, los verdeos invernales proporcionan suficiente tiempo para reponer la humedad del suelo en el período previo a la siembra, siendo cultivos antecesores ideales para la alfalfa. Se considera que el centeno, la avena, maíz, mijo o moha para pastoreo, silo o heno, constituyen buenos antecesores para sembrar alfalfa. Los cultivos estivales están condicionados por las lluvias de otoño (Romero *et al.,* 1995).

La profundidad a que se deposita la semilla y el contacto de ésta con la humedad del suelo son los principales factores a considerar en el momento de la siembra. La profundidad más adecuada varía entre 1,5 y 2 cm. Para la siembra se debe utilizar semilla de óptima calidad, con buena identidad genética y libre de semillas de malezas. Se deben considerar dos parámetros al elegir la semilla: su calidad física y su calidad genética. El primer parámetro tiene que ver con la uniformidad del tamaño, el poder germinativo, el nivel de contaminación de otras semillas y el grado de pureza. La calidad genética está asociada al conjunto de características heredables de una variedad, como son el grado de reposo invernal, el comportamiento ante plagas y enfermedades, la velocidad de crecimiento, la actuación ante condiciones climáticas

extremas, etc., que, en combinación con el ambiente, determinan el potencial de producción de forraje y persistencia de la planta de alfalfa (Bobadilla, 2002).

La alfalfa se caracteriza por tener altos requerimientos de N, una parte la planta la obtiene del suelo y el resto de N que necesita es aportado por la asociación simbiótica entre la alfalfa y bacterias *Sinorizobium meliloti*. La función de estos microorganismos es de captar el N del aire y transformarlo en aprovechable para la planta. El peleteado es un proceso por el cual se provee a la semilla de un elevado número de bacterias de alta eficiencia de fijación biológica de N que, sumada a una equilibrada provisión de nutrientes, asegura una mejor y más eficiente implantación de la alfalfa. Sus ventajas son proteger al cultivo del ataque de hongos y microorganismos patógenos, proveer al cultivo con cepas de *Rizobium* con alta frecuencia de fijación y un elevado número de microorganismos por semillas, adecuar al medio ambiente del suelo para una mejor germinación e implantación de la pradera y proteger a la semilla ante condiciones de deficiencia de humedad en el momento de la siembra, evitando que se inicie el proceso de germinación, hasta que las condiciones de humedad mejoren (Romero *et al.*, 1995).

La densidad de siembra es decir la cantidad de semilla a utilizar, dependerá de la calidad de la semilla, la cantidad y distribución de lluvias, la preparación del suelo y la eficiencia de la maquinaria sembradora. El número inicial de plantas por unidad de superficie presentes en un alfalfar a los 80 días de sembrado, está altamente asociado con la densidad de siembra (kg de semillas viables por ha) (Romero, 2011). Cuando el stand inicial de plantas es bajo, es posible que haya cierto nivel de compensación de la densidad de plantas a través de la emisión de una mayor cantidad de tallos y/o el peso de los tallos (Romero *et al*., 1995). Por otro lado, los stands inicialmente muy densos pierden plantas en mayor proporción que los logrados con densidades bajas y ambos tienden a estabilizarse en un número similar de plantas (100-150 pl $m^{-2}$) en los años sucesivos (Bobadilla, 2002). El número de plantas que maximiza la producción forrajera del primer año de la pastura, prácticamente duplica al número de plantas en el que la misma se estabilizará a partir del segundo año (Odorizzi, 2015). En la Región Pampeana, normalmente los alfalfares presentan al momento del primer corte o pastoreo una densidad de alrededor de 150 plantas m-2, lo que evidencia una muy baja eficiencia de establecimiento. No obstante esta cantidad de plantas son normales independientemente de la densidad de siembra inicial y de la zona (Romero, 2011). El objetivo de usar densidades de siembra altas no sólo responde a los bajos logros de implantación que se obtienen en general (Hijano y Navarro, 2008) sino a la intención de maximizar la producción de forraje durante el primer año de aprovechamiento de la pastura (Romero *et al.,* 2006). En este sentido, la ventaja de utilizar densidades de siembra altas estaría asociada a que cuando las plantas son jóvenes y aún con coronas poco

desarrolladas, el número de tallos potencialmente cosechables aumenta con la densidad lograda (Odorizzi, 2015).

Con respecto al desarrollo fenológico, existe una gran cantidad de clasificaciones para describir la fenología y la evolución del desarrollo morfológico de las plantas de alfalfa. La utilidad de definir estos estadios de madurez reside en la definición de prácticas de manejo apropiadas para el cultivo. En la región central de Córdoba, el momento de utilización de la alfalfa se define en función al porcentaje de floración. A lo largo del ciclo de crecimiento los cultivares de reposo intermedio y sin reposo difieren en sus tasas de crecimiento (Spada, 2003), no obstante se desconoce la evolución fenológica de este tipo de cultivares. Los criterios de clasificación con que se describe la fenología de la alfalfa y su evolución a través de los rebrotes están basados principalmente en la altura del canopeo y en los estados reproductivos (botón floral, floración y fructificación). A partir de estas características se concluyó que el momento de corte óptimo es cuando las plantas alcanzan el 10 % de floración dado que se obtienen producciones de forraje compatibles con la calidad y persistencia del cultivo (Spada *et al*., 2007). La expresión de cada estadio fenológico es un resultado de la historia ambiental y fisiológica del cultivo y que, si bien es simple definir el momento de utilización en base al 10 % de floración, no se tiene en cuenta esos antecedentes. Fundamentándose en este concepto, Kalu y Fick (1981, 1983) describieron un método que se basa en la altura y la presencia de diversos órganos en los tallos. De este modo, describen 10 estadios de madurez divididos en: tres estados vegetativos, dos de botón floral, dos de floración y tres de fructificación (Tabla 2). A partir de éstos se define el estado medio de la pastura. Otros utilizan cuatro categorías utilizando principalmente la altura del canopeo y la sucesión de estadios vegetativos y reproductivos, siendo cada uno de ellos: estado vegetativo, botón floral, floración y fructificación. Por su estrecha relación con la calidad nutricional del forraje, el estado de desarrollo (o estado de madurez) es una variable frecuentemente usada en la descripción de las pasturas (Rodríguez y Spada, 2007).

Sobre la base de esta categorización, e incluyendo criterios fisiológicos, se estableció que el indicador más generalizado para determinar el momento de uso es el inicio de floración, el cual tiene una alta correlación con la máxima acumulación de carbohidratos de reserva en la corona para posteriores rebrotes. Por lo tanto, el comienzo del corte o pastoreo podría definirse como el momento en el que el cultivo alcanza el 10 % de floración o cuando los rebrotes basales (desde la corona) alcanzan tres a cinco centímetros de altura, lo cual también permite compatibilizar calidad del forraje obtenido y perennidad de la pradera (Romero *et al*., 1995). El factor más importante que influye en la calidad del forraje en pie es su madurez, ya que a medida

que avanza el desarrollo de la alfalfa, aumenta su contenido de MS y la porción digestible de la planta disminuye; siendo el contenido de proteína el componente que presenta mayor variación en el cultivo (Odorizzi, 2015).

**Tabla 2.** Estados de madurez de la alfalfa definidos por Kalu y Fick (1981) con base en el desarrollo morfológico de tallos individuales en una muestra de forraje.

| Escala numérica | Denominación | Definición morfológica |
|---|---|---|
| 0 | Vegetativo temprano | Ausencia de botones florales, flores, vainas y yemas axilares. |
| 1 | Vegetativo medio | Ausencia de botones florales, flores y vainas. Presencia de primeras hojas originadas de yemas axilares. |
| 2 | Vegetativo tardío | Ausencia de botones florales, flores y vainas. Presencia de ramificaciones axilares. |
| 3 | Botón temprano | 1 a 2 nudos con botones. Ausencia de flores y vainas. |
| 4 | Botón tardío | >3 nudos con botones. Ausencia de flores y vainas. |
| 5 | Floración temprana | 1 nudo con una flor abierta. Ausencia de vainas. |
| 6 | Floración tardía | >2 nudos con una flor abierta. Ausencia de vainas. |
| 7 | Fructificación temprana | 1 a 3 nudos con vainas verdes. |
| 8 | Fructificación tardía | >4 nudos con vainas verdes. |
| 9 | Semillas maduras | Nudos con vainas marrones. |

El momento óptimo para su uso está dado, fundamentalmente, por el balance entre la cantidad de carbohidratos acumulados en la corona y el estado de desarrollo alcanzado al momento del corte, lo cual también permite compatibilizar calidad del forraje obtenido y duración de la pradera. A medida que avanza el estado de madurez, desde prebotón a floración completa, disminuye el valor nutritivo de la alfalfa (Jahn *et al.*, 1993). Inmediatamente después del corte o pastoreo, la disminución de las reservas se debe a las pérdidas por respiración de la planta y al desarrollo inicial de los nuevos brotes a partir de las yemas de la corona, siendo las pérdidas por respiración las de mayor magnitud (Ta *et al*., 1990).

En el caso de la alfalfa, las yemas o meristemas apicales están siempre por encima de la altura de defoliación, debido a la elongación que rápidamente se produce en los entrenudos de los tallos; como consecuencia de lo anteriormente mencionado, el rebrote después del corte o pastoreo se origina en las yemas de la corona o de la parte basal de los tallos remanentes. Luego de una defoliación y a medida que avanza en su madurez, presenta un patrón típico de acumulación de forraje en el cual la cantidad de tallos se incrementa continuamente, mientras que la de hojas se detiene antes, y la presencia de material muerto comienza a aumentar. El

mayor contribuyente de material muerto es la hoja, indicando que en un determinado momento se producen tantas hojas como las que mueren (Cangiano, 2007).

## 1.3. JUSTIFICACIÓN

El propósito del siguiente trabajo, es contribuir al conocimiento del cultivo de alfalfa en la región central del país, en las etapas iniciales de desarrollo, para logar un adecuado establecimiento, ya que este es fundamental para el éxito económico de un sistema de producción basado en este cultivo. Para cumplimentar esto, se requiere, analizar y evaluar otras estrategias productivas que consideren el GRI y época de siembra, incorporando además de la siembra de otoño, la de primavera y de esta manera facilitar la integración de alfalfa en los sistemas agrícolas actuales, contribuyendo al aumento de la superficie cultivada y obtener los beneficios de esta especie en las rotaciones con cultivos agrícolas.

# CAPÍTULO 2: HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

## 2.1.HIPOTESIS

En condiciones óptimas y extremas de temperatura, los distintos GRI inciden en el número de días desde germinación a emergencia, así como también sobre el tamaño y peso de las plántulas de alfalfa.

La siembra de alfalfa en primavera mejora la eficiencia de uso de la tierra y acorta el período desde la siembra hasta el primer aprovechamiento.

## 2.2.OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la emergencia y el establecimiento de dos variedades de *Medicago sativa* L. con distinto GRI bajo diferentes condiciones ambientales.

## 2.3.OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el efecto de diferentes temperaturas sobre el comportamiento de dos variedades de alfalfa durante el período de germinación y emergencia.
- Determinar el crecimiento, desarrollo y eficiencia de implantación de dos variedades de alfalfa en siembras de otoño y primavera.

# CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se implementó por medio de la ejecución de dos experimentos, el primero en condiciones controladas en cámara de germinación y el segundo en parcelas experimentales a campo. A continuación se detallan cada uno de ellos.

## 3.1. EXPERIMENTO 1: en cámara de germinación

El primer experimento, se llevó a cabo en el laboratorio de semillas de la cátedra de Genética de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto (Ruta Nacional 36 – km 601, Río Cuarto, Córdoba, Argentina).

Las semillas de Alfalfa utilizadas fueron brindadas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Manfredi, las mismas fueron dos cultivares representativos de grupos de reposo invernal de características extremas:

- Cultivar **GRI 6**: WL 611, reposo invernal intermedio.
- Cultivar **GRI 10**: WL 1058, extremadamente sin reposo invernal.

El ensayo se dividió en tres etapas en función de las temperaturas y de esta manera se constituyeron los tres tratamientos:

- Tratamiento testigo (**T0**):

Los cultivares se sometieron a condiciones óptimas para la germinación: 20 °C, 100 % de humedad y 12 hs de luz (fotoperiodo) simulando condiciones de principio de otoño o primavera verano. Para poder realizar dicho ensayo la cámara de germinación se reguló de manera tal que la temperatura varíe a lo largo del día entre 13 y 24 °C.

- Tratamiento (**T1**):

La temperatura utilizada fue de 10 °C por debajo de la óptima, 100 % de humedad y 9 hs de luz (fotoperiodo) similar a las condiciones ambientales de fines de otoño. Con una variación de la temperatura de 5 °C y 15 °C a lo largo del día.

- Tratamiento (**T2**):

En este tratamiento los cultivares se sometieron a 10 °C por encima de la óptima para su germinación, es decir a 30 °C, 100 % de humedad y 12 hs de luz (fotoperíodo), simulando condiciones ambientales de primavera tardía. Para lograr esta temperatura se generó una

variación en la cámara de entre 15 y 30 °C de temperatura. En la Figura 6 puede observarse como fue regulándose la temperatura en la cámara de germinación (Conviron 2005, modelo G30) para generar los tres tratamientos en estudio.

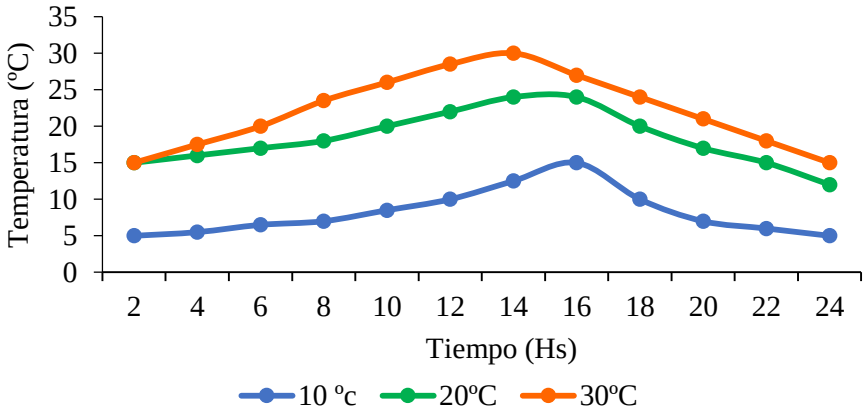



**Figura 6.** Variación de temperatura a lo largo de 24 hs en cámara de germinación a: 30 °C con luz de 7 a 19 hs; a 10 °C con luz de 8:30 a 17:30 hs y 20 °C con luz de12 a 24 hs.

Las semillas se sembraron en bandejas de germinación o *speedling* con arena esterilizada como sustrato, utilizando una bandeja por cultivar, cada una cuenta con 200 orificios y dentro de cada uno de ellos se colocaron a germinar 3 semillas con el objetivo de disponer de una planta por orificio.

El diseño experimental fue un factorial con 2 (dos) vías de clasificación, cultivares y 3 temperaturas (10, 20 y 30 ºC) es decir un 2 x 3 y cada una de las celdas del *speedling* se consideró una repetición.

**Modelo estadístico:**

$$\mu_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AxB_{ij}) + e_{ijk}$$

**μ** = media de los tratamientos
**A** = cultivares I y II
**B** = temperatura (10; 20 y 30 °C),
**(AxB)** = interacción (cultivar x temperatura)
**e** = error experimental

Luego de realizada la siembra, se evaluaron diariamente los días desde germinación hasta emergencia de los cotiledones, aparición de la primera hoja la cual es unifoliada; aparición de la segunda hoja trifoliada, también llamada hoja verdadera, esto se repitió para cada uno de los tratamientos. El período de tiempo en el que se realizó este ensayo se definió en función de la aparición de las hojas trifoliadas.

Además de determinar los días de desarrollo de cada etapa fenológica, también se determinó el peso de las plántulas en cada uno de los estadios: cotiledonar, hoja unifoliada y hoja trifoliada, para esto, en cada tratamiento y en cada estadio de desarrollo, se extrajeron 20 plántulas, se pesaron en húmedo y luego se secaron en microondas obteniendo el peso seco.

**Análisis de los datos**

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT sometiendo los valores al análisis de la varianza (ANOVA) y los promedios se compararon por medio del Test de Duncan.

## 3.2. EXPERIMENTO 2: a campo

### 3.2.1. Características del área donde se realizó el estudio

El estudio se realizó durante los años 2011/2013 en el Campo de Docencia y Experimentación (CAMDOCEX) de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, situado sobre Ruta Nacional 36, km 601, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Su ubicación geográfica es 33º 06’ LS, 64º 17’ LO y a 435 msnm.

El área de trabajo pertenece a la Unidad Ambiental Llanura Subhúmeda bien drenada, con suelos, en su mayoría, Haplustoles típicos sin problemas de drenaje internos o externos, caracterizándose por un relieve plano con pendientes menores al 2 % y bien desarrollados, sobre materiales loéssicos franco-arenosos (Cantero *et al*., 1998).

### 3.2.2. Características del suelo

El suelo sobre el cual se desarrolló el ensayo es un Haplustol típico representativo de la región agrícola de Río Cuarto. Presenta relieve normal, bien drenado, desarrollado a partir de un material loéssico de textura franco arenosa muy fina con baja diferenciación horizontal. En la Tabla 3 se indican sus principales características.

**Tabla 3.** Principales características del suelo Haplustol típico donde se desarrolló el experimento 2.

| Horizonte | Profundidad (cm) | Dap (mg $m^3$) | pH | MO (%) | Ca (g $mg^{-1}$) | CE (dS $m^{-1}$) | $NO_3$ (g $mg^{-1}$) | NT (%) | P (g $mg^{-1}$) | K (g $mg^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ap | 0-18 | 1,18 | 6,67 | 3,4 | 8,89 | 0,1 | 27 | 0,11 | 24 | 15,60 |
| Bw1 | 18-35 | 1,19 | 6,95 | 1,8 | 9,96 | 0,1 | 18 | 0,06 | 42 | 11,60 |
| Bw2 | 35-57 | 1,29 | 7,39 | 1,2 | 7,58 | 0,1 | 5 | 0,04 | 14 | 8,40 |
| Bw3 | 57-80 | 1,29 | 7,69 | 0,7 | 8,60 | 0,1 | 5 | 0,03 | 17 | 7,20 |
| BC | 80-105 | 1,29 | 8,04 | 0,6 | 6,90 | 0,1 | 5 | 0,03 | 17 | 8,00 |
| C | 105-163 | 1,29 | 8,29 | 0,5 | 13,47 | 0,1 | 5 | 0,02 | 16 | 8,40 |
| Ck | 163-200 | 1,29 | 8,50 | 3,4 | 20,37 | 0,1 | 5 | 0,02 | 12 | 10,00 |

Dap: densidad aparente (mg $m^{-3}$). pH: medida de acidez o alcalinidad. MO: materia orgánica (%). Ca: Contenido de Calcio (g $mg^{-1}$). CE: conductividad eléctrica extracto de saturación (dS $m^{-1}$). $NO_3$: contenido de nitratos (g $mg^{-1}$). NT: nitrógeno total (%). P: fósforo en el suelo (g $Mg^{-1}$). K: potasio en el suelo (g $mg^{-1}$) (Uberto, 2008).

### 3.2.3. Caracterización climática del área de estudio

El clima del área se caracteriza por ser de tipo mesotermal, subhúmedo (Cantero *et al*., 1986). El régimen térmico es templado continental con una temperatura media anual de 16,3 ºC. La temperatura media del mes más cálido (enero) es de 23,5 ºC, mientras que la temperatura del mes más frío (julio) es entre 9,5 y 8,5 ºC, disminuyendo hacia el sector SO. La amplitud térmica media anual es de 14 ºC en el sector NNO y de 16 ºC en el sector SSE (Jarsún *et al*., 2003). El período libre de heladas es de 240 días, desde mediados de septiembre a mediados de mayo. La ocurrencia de precipitaciones se corresponden a un régimen irregular monzónico, donde se concentra aproximadamente el 80 % de las precipitaciones en el semestre más cálido (octubre a marzo). El valor medio de la pluviometría es de 800 mm (Seiler *et al*., 1995).

### 3.2.4. Descripción del ensayo experimental

El diseño experimental utilizado en este trabajo para los años 1 (2011) y año 2 (2013) fue en bloques aleatorizados, con un arreglo espacial en parcelas divididas, siendo el factor principal la época de siembra -otoño (SO) y primavera (SP)- y el factor secundario el cultivar (WL 611 de GRI 6 y WL 1058 de GRI 10). Se utilizaron tres repeticiones.

### 3.2.5. Épocas de siembra

Las épocas de siembra evaluadas fueron siembras de otoño y de primavera para cada uno de los años evaluados, es decir dos épocas de siembra por año, en total cuatro siembras. A continuación, se detallan cada una de ellas:

#### 3.2.5.1. Siembras de primavera

La siembra de primavera (SP) del año 1 se realizó el 23 de septiembre de 2011 y la del año 2 fue el 04 de octubre de 2013, el cultivo antecesor en ambos casos fue soja (*Glycine max*), previo a la siembra, se realizó un barbecho químico utilizando Glifosato al 78 % en dosis de 2,5 kg $ha^{-1}$ y Flumetsulam al 12,5 % en dosis de 500 g $ha^{-1}$. Las siembras se realizaron con una sembradora de siembra directa de 25 surcos y con un distanciamiento entre líneas de 17,5 cm. Las parcelas tuvieron un ancho de 9 m y un largo de 300 m, para la correcta manipulación de la maquinaria. Cada parcela se dividió en tres bloques de Norte a Sur de igual superficie cada uno.

En base a la calidad y el peso de la semilla de cada cultivar se reguló la densidad, para sembrar 300 semillas viables $m^{-2}$ y se fertilizó al momento de la siembra con 45 kg de fosfato diamónico (FDA) (45:18:0).

#### 3.2.5.2. Siembras de otoño

La siembra de otoño (SO) del año 1 se realizó el 15 de marzo de 2012 y la del año 2 fue el 06 de abril de 2013, el cultivo antecesor fue moha (*Setaria itálica*) para heno. Se realizó un barbecho químico utilizando Glifosato al 78 % en dosis de 2,5 kg $ha^{-1}$ y Flumetsulam (Preside®) al 12,5 % en dosis de 500 g $ha^{-1}$. Se debieron realizarse 2 aplicaciones para control de trips con 200 $cm^3$ Clorantraniliprole al 4,5 % y al momento de la siembra se fertilizó con 45 kg de FDA (45:18:0).

### 3.2.6. Características de cultivares

**Cultivar GRI 6 WL 611**, el mismo es un cultivar de reposo invernal intermedio que se caracteriza por tener alta sanidad foliar, gran persistencia, alta resistencia a pulgones y elevados niveles de producción de materia verde en sistemas de corte para henificación.

**Cultivar GRI 10 WL 1058**, este cultivar es extremadamente sin reposo. Es muy utilizado en sistemas ganaderos de producción lechera, gracias a su sobresaliente potencial de producción de forraje invernal y alta velocidad de rebrote. De excelente sanidad y muy persistente, da respuesta a aquellos planteos productivos que demandan cada vez más alta carga animal y mayor cantidad de forraje. Se caracteriza por presentar alta velocidad de rebrote, destacable comportamiento frente a enfermedades foliares, excelente persistencia y alto potencial de producción de forraje.

### 3.2.7. Esquema del ensayo

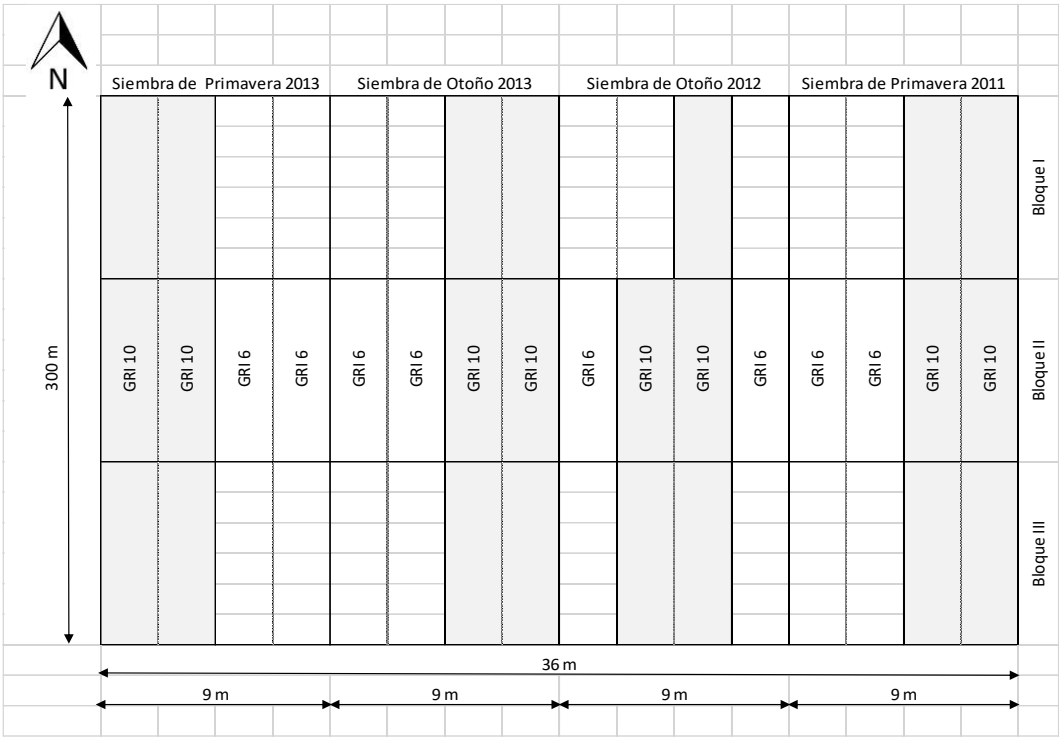



**Figura 7.** Esquema de las parcelas donde se realizó el experimento en el Campo experimental de la UNRC, CAMDOCEX.

### 3.2.8. Descripción de las determinaciones realizadas

- Eficiencia de emergencia a los 30 días de la siembra:

$$= \left(\frac{\text{plantulas emergidas } (m^2)}{\text{semillas viables } (m^2)}\right) * 100$$

Donde las semillas viables son aquellas que presentan la condición de germinar y están afectadas por el valor cultural (VC), la densidad (δ) y el peso de mil semillas (PMS).

$$\delta\left(\frac{kg}{ha}\right) = \frac{semillasviablesxPMS}{VC}$$

Semillas viables = plántulas a lograr $m^{-2}$

PMS= peso de 1000 semillas (g)

VC= valor cultural = PG x P

PG= poder germinativo (%)

P= pureza (%)

- Eficiencia de implantación

$$= \left(\frac{\text{plantulas logradas } (m^2)}{\text{semillas viables } (m^2)}\right) * 100$$

A los 60 días de la siembra se determinó el número de plántulas logradas por unidad de superficie y se relacionó con las semillas viables o plántulas logradas, lo cual indica la eficiencia de implantación.

- Producción de MS (kg MS $ha^{-1}$) del primer ciclo productivo, esto se realizó cuando el cultivo alcanzó el 10 % de floración.
- Caracteres morfológicos:

  -Peso (g) por planta.
  -Peso (g) de raíces.
  -Relación hoja/tallo.
- Estado medio por conteo Kalu y Fick, 1981 y 1983

$$= \sum \frac{S * N}{C}$$

Donde S= estadio de madurez
N= cantidad de tallos en estadio
C= total de tallos

### 3.2.9. Procesamiento de datos:

Los datos fueron tabulados y procesados con el software INFOSTAT (Di Renzo *et al*., 2009). El análisis de datos se realizó por medio de análisis de varianza y los promedios se compararán por medio del Test de Duncan.

# CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1.RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 1

### 4.1.1. Estadio cotiledonar

#### 4.1.1.1. Resultado del análisis de calidad de las semillas

Previo al inicio del ensayo, se realizó un análisis de calidad de semillas según las Normas ISTA (2010). Los resultados se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Análisis de calidad de las semillas de dos cultivares de alfalfa de distinto GRI.

| | | **Recuento al 4º día** | **Recuento al 10º día** |
|---|---|---|---|
| **Cultivar** | **GRI** | **EG %** | **PG %** |
| **WL 611** | **6** | 72,0 a | 83,5 |
| **WL 1058** | **10** | 80,5 b | 90,5 |
| **Significancia** | | * | *ns* |
| **CV** | | 7,41 | 8,30 |

** diferencias significativas p≤ 0.05 ns: sin diferencias*

CV= coeficiente de variación, EG= energía germinativa y PG= poder germinativo

Los porcentajes de energía germinativa y poder germinativo se analizaron estadísticamente para asegurar que las muestras de semillas utilizadas no presenten diferencias significativas entre ellas en cuanto a estos parámetros.

#### 4.1.1.2. Días de germinación a emergencia de cotiledones:

La aparición de los cotiledones en función del tiempo (%) se presenta en el Tabla 5. En ambos cultivares evaluados, las hojas cotiledonares empiezan a aparecer a los 5 días de la siembra (dds), a 20 y 30 ºC, mientras que a 10 ºC en ese momento aún no hay aparición de cotiledones. Para esa fecha, el cultivar GRI 10 fue superior (23,8 %) y diferente estadísticamente al cultivar GRI 6 (10,1 %). Luego, desde los 10 a los 20 dds, esta diferencia se invierte, es decir que en ese período siempre el GRI 6 presentó mayor porcentaje de aparición de cotiledones con diferencias estadísticas, con respecto al cultivar GRI 10.

Considerando la temperatura independientemente del cultivar, a los 5 días después de la siembra las tres temperaturas evaluadas difirieron estadísticamente, siendo a 20 ºC donde se produjo el mayor desarrollo de cotiledones (44,6 %); a 30 ºC se presentó una situación intermedia, siendo el porcentaje de emergencia de cotiledones de 6,3 %, mientras que, a 10 °C

no se produjo dicho desarrollo (0 %). A los 10 días desde la siembra las temperaturas de 20 y 30 ºC presentaron los mayores porcentajes de aparición de cotiledones, no existiendo entre ambas temperaturas diferencias estadísticas (80,7 y 76,7 % respectivamente) y a 10 ºC se dieron los menores resultados (33,5 %). A partir de los 15 días desde la siemba, la tasa de aparición de cotiledones no presentó diferencias significativas entre las temperaturas, observándose una estabilización y altos porcentajes en la germinación a partir de esta fecha.

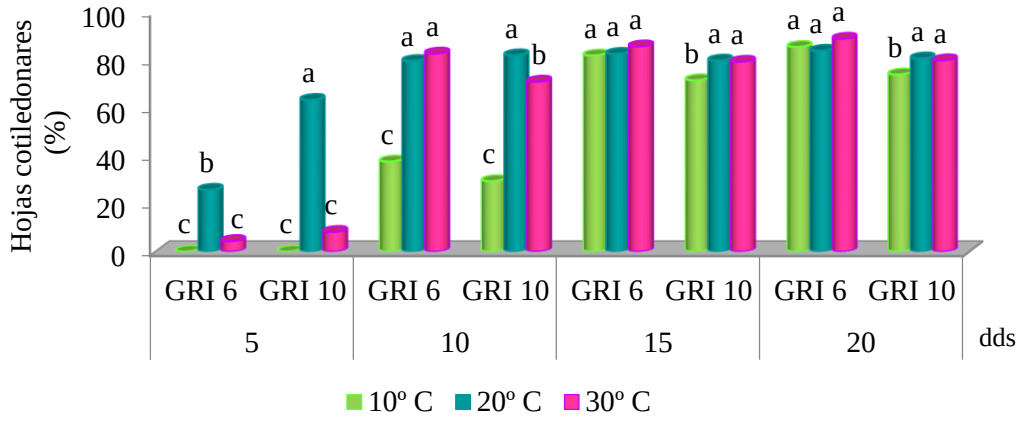
En cuanto al efecto de la interacción cultivar por temperatura, en la Tabla 5 se observa que a los 5 dds en temperaturas de 20 ºC y en el cultivar GRI 10 se presentó el mayor porcentaje de aparición de cotiledones (63,3 %), y en segundo lugar el cultivar GRI 6 para las mismas condiciones de temperatura y los porcentajes más bajos fueron a 10 y 30 ºC para los dos cultivares, no difiriendo entre sí estadísticamente. A los 10 dds los mayores porcentajes de desarrollo cotiledonar se dieron a 20 ºC para ambos cultivares y a 30 ºC para el cultivar GRI 6, una situación intermedia se presentó en el cultivar GRI 10 a 30 ºC y los menores valores se obtuvieron a 10 ºC en los dos cultivares. Desde los 15 dds en adelante el GRI 6 en las tres temperaturas presentó los mayores valores de aparición de cotiledones al igual que en el GRI 10 a 30 y 20 ºC, mientras que el menor valor se dio en el GRI 10 a 10 ºC.

**Tabla 5.** Porcentaje de aparición de cotiledones en el tiempo (días desde la siembra, dds) en dos cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo invernal (GRI 6 y GRI 10) bajo tres condiciones de temperatura (10, 20 y 30 °C).

| Tratamientos | | Tiempo (dds) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Cultivares | Temperaturas | % | | | |
| GRI 6 | 10 | 0 c | 37,6 c | 81,8 a | 85,4 a |
| | 20 | 25,8 b | 79,4 a | 82,5 a | 83,8 a |
| | 30 | 4,4 c | 82,6 a | 85,6 a | 88,7 a |
| GRI 10 | 10 | 0 c | 29,4 c | 71,5 b | 73,9 b |
| | 20 | 63,3 a | 81,2 a | 79,7 a | 80,6 a |
| | 30 | 8,2 c | 70,8 b | 79,2 a | 79,7 a |
| Cultivar | GRI 6 | 10,08 B | 66,5 A | 83,3 A | 86 A |
| | GRI 10 | 23,9 A | 60,7 B | 76,8 B | 78,1 B |
| Temperatura | 10 | 0 C | 33,5 B | 76,6 | 79,6 |
| | 20 | 44,6 A | 80,7 A | 81,81 | 82,2 |
| | 30 | 6,3 B | 76,7 A | 82,4 | 84,2 |
| Significancia | Cultivar | * | * | * | * |
| | Temperatura | * | * | *ns* | *ns* |
| | Cultivar x Tº | * | * | * | * |
| C.V. (%) | | 14,33 | | | |

*Letras minúsculas y mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas. * = p≤ 0,05, ns = sin diferencias significativas.*

En la Figura 8, se encuentra graficada la interacción de los cultivares y temperaturas en relación a la aparición de cotiledones: en ella se observa que a los 5 días después de la siembra se inicia el desarrollo, siendo a 20 ºC donde se originó el mayor porcentaje de aparición de cotiledones con resultado superior y diferente estadísticamente a los obtenidos a 10 y 30 ºC en ambos cultivares. A los 10 días después de la siembra en ambos cultivares a 20 y 30 ºC se da el mayor porcentaje de aparición de cotiledones y esto difirió estadísticamente de lo ocurrido a 10 ºC. Luego de los 15 días de la siembra no existieron diferencias estadísticas entre las temperaturas.




*Referencia: letras minúsculas sobre las barras indican diferencias significativas (p≤ 0,05).*

**Figura 8:** Porcentaje de aparición de cotiledones en el tiempo (dds) de dos cultivares de Alfalfa (GRI 6 y GRI 10) a tres temperaturas (10 °C, 20 °C y 30 °C).

#### 4.1.1.3. Peso plántulas en estadio cotiledonar:

En la etapa cotiledonar, independientemente de los cultivares, el peso de las plántulas fue significativamente inferior a 30 °C en relación con las otras temperaturas (Tabla 6).

**Tabla 6.** Peso promedio de plántulas (mg) en estadio cotiledonar en dos cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo invernal GRI 6 y GRI 10 bajo tres condiciones de temperatura (10 °C, 20 °C y 30 °C).

| **Cultivar** | **Temperaturas** | | |
|---|---|---|---|
| GRI | 10 ºC | 20 º C | 30 º C |
| GRI 6 | 2,9 **a** | 2,8 **a** | 1,8 **b** |
| GRI 10 | 3,1 **a** | 2,9 **a** | 2,2 **b** |

*Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas p≤ 0,05.*

### 4.1.2. Hojas unifoliadas

#### 4.1.2.1. Días de germinación a emergencia de hojas unifoliadas:

El porcentaje de aparición de hojas unifoliadas en el tiempo (dds) se presenta en la Tabla 7, donde se observan diferencias significativas en las tres temperaturas de estudio y en los dos cultivares durante el periodo comprendido entre los 10 y 55 días de la siembra. En relación a los cultivares, se observa que solo existió diferencias significativas entre los cultivares a los 10 días de la siembra, independientemente de la temperatura, donde GRI 10 fue mayor con un 9,8 % de aparición de hojas unifoliadas en comparación con el GRI 6 el cual a esa fecha no manifestó dicho desarrollo (0%). Durante el resto del período de evaluación no hubo diferencias entre los cultivares evaluados.

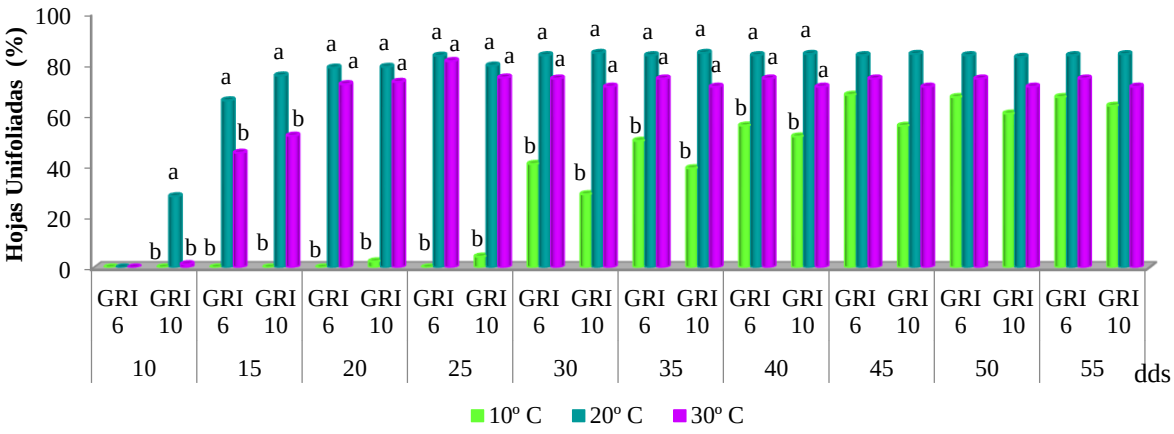
Teniendo en cuenta las distintas temperaturas, independientemente del cultivar, solo a los 10 días desde la siembra no hubo diferencias significativas entre estas. Desde esa fecha en adelante, se evidencian diferencias estadísticas entre las temperaturas, siendo en todas las fechas la temperatura de 20 ºC donde se produjeron los mayores valores de aparición de hojas unifoliadas. Sólo a los 20 y 25 dds la temperatura de 30 ºC se igualó a la de 20 ºC, no existiendo diferencias entre ellas, pero si diferentes y superiores a lo logrado a 10 ºC. En el resto de las fechas, los mayores porcentajes de aparición de hojas unifoliadas se presentaron a 20 °C, los intermedios a 30 ºC y los menores a 10 °C, mostrando las tres temperaturas diferencias estadísticas significativas.

En la Figura 9 se presenta la interacción entre los cultivares y las temperaturas en los distintos días después de la siembra, en la misma se observa que a 10 °C la aparición de hojas unifoliadas se inicia a los 20 y 25 dds para el GRI 10, mientras que el GRI 6 inicia el desarrollo de hojas unifoliadas a los 30 dds. A partir de ese momento en adelante el GRI 6 fue el que presentó los mayores porcentajes de hojas unifoliadas a esta temperatura, comparado con el GRI 10. A 20 °C se inicia el desarrollo de hojas unifoliadas a los 10 dds en el GRI 10, mientras que el GRI 6 esto ocurre a los 15 dds. De allí en adelante se produjeron los mayores porcentajes de aparición de hojas unifoliadas durante todo el registro para ambos cultivares, no difiriendo entre sí; y a 30 °C la aparición de hojas unifoliadas se inició a los 10 dds para el GRI 10 con un bajo valor, mientras que el GRI 6 este desarrollo se presentó a partir de los 15 dds, momento después del cual se dieron los porcentajes más altos, no difiriendo estadísticamente entre los cultivares.

**Tabla 7.** Porcentaje de aparición de hojas unifoliadas, desde la siembra en función del tiempo (días después de la siembra = dds) de dos cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo invernal bajo tres condiciones de temperatura.

| Tratamientos | | Tiempo (Dds) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 | | 15 | | 20 | | 25 | | 30 | | 35 | | 40 | | 45 | | 50 | | 55 | | | |
| | | % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GRI 6 | 10 | 0 | | 0 | c | 0 | b | 0 | b | 40,7 | b | 49,8 | b | 55,8 | b | 67,9 | | 67 | | 67 | | | |
| | 20 | 0 | | 65,7 | a | 78,6 | a | 83,3 | a | 83,5 | a | 83,5 | a | 83,5 | a | 83,5 | | 83,5 | | 83,5 | | | |
| | 30 | 0 | | 45,1 | b | 72,1 | a | 81,2 | a | 74,3 | a | 74,3 | a | 74,3 | a | 74,3 | | 74,3 | | 74,3 | | | |
| GRI 10 | 10 | 0 | b | 0 | c | 2,4 | b | 4,3 | b | 28,8 | b | 39 | b | 51,5 | b | 55,7 | | 60,5 | | 63,6 | | | |
| | 20 | 28 | a | 75,5 | a | 78,9 | a | 79,4 | a | 84,4 | a | 84,4 | a | 84 | a | 84 | | 82,8 | | 83,9 | | | |
| | 30 | 1,3 | b | 51,8 | b | 73 | a | 74,7 | a | 71,1 | a | 71,1 | a | 71,1 | a | 71,1 | | 71,1 | | 71,1 | | | |
| Cultivar (Cv) | GRI 6 | 0 | B | 36,9 | | 50,3 | | 54,8 | | 66,1 | | 69,2 | | 71,2 | | 75,2 | | 74,9 | | 74,9 | | | |
| | GRI 10 | 9,8 | A | 42,4 | | 51,4 | | 52,8 | | 61,4 | | 64,9 | | 68,9 | | 70,3 | | 71,5 | | 72,9 | | | |
| Temperatura | 10 | 0 | | 0 | C | 1,2 | B | 2,1 | B | 34,7 | C | 44,4 | C | 53,6 | C | 61,8 | C | 63,8 | C | 65,3 | C | | |
| | 20 | 14 | | 70,6 | A | 78,8 | A | 81,3 | A | 83,9 | A | 83,9 | A | 83,7 | A | 83,7 | A | 83,1 | A | 83,7 | A | | |
| | 30 | 0,6 | | 48,5 | B | 72,6 | A | 77,9 | A | 72,7 | B | 72,7 | B | 72,7 | B | 72,7 | B | 72,7 | B | 72,7 | B | | |
| Significancia | Cv | * | | *ns* | | *ns* | | *ns* | | *ns* | | *ns* | | *ns* | | *ns* | | *ns* | | *ns* | | | |
| | T | *ns* | | * | | * | | * | | * | | * | | * | | * | | * | | * | | | |
| | Cv x T | * | | * | | * | | * | | * | | * | | * | | *ns* | | *ns* | | *ns* | | | |
| C.V. (%) | | 19,03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

*Ref*: indica diferencias significativas p≤0,05 y ns: no significativa. Letras minúsculas y mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas p≤0,05.*




*Referencia: letras minúsculas sobre de las barras indican diferencias significativas (p≤ 0,05).*

**Figura 9:** Porcentaje de aparición de hojas unifolidas en el tiempo (dds) de dos cultivares de alfalfa GRI 6 y GRI 10 a tres temperaturas (10 °C; 20 °C y 30 °C).

En general las temperaturas extremas afectan en diferente magnitud, la emergencia de hojas unifoliadas. Esto queda explicitado en la Figura 9 con un sensible retraso en la aparición de las mismas cuando el proceso se desarrolla a temperaturas de 10 °C, pudiendo ser de 20 a

25 días 10 a 15 días más tarde si se lo compara con temperaturas óptimas. A 30 °C el efecto fue más leve, siendo el mismo de 15 días, es decir 5 días más tarde que el óptimo.

En la Figura 9 es posible ir observando que ocurre en los distintos dds, ya que a los 10 dds no se registra desarrollo de hojas unifoliadas en el GRI 6 y si en el GRI 10, a 20 ºC y en menor magnitud a 30 ºC. A los 15 dds, aún no se manifiesta desarrollo de hojas unifoliadas a 10 ºC en ambos cultivares y a 20 ºC se registraron los mayores valores continuando los desarrollados a 30 ºC. Luego desde los 20 dds a los 40 dds el desarrollo de hojas unifoliadas fue mayor y estadísticamente diferente en temperaturas de 20 y 30 ºC comparado con lo ocurrido a 10 ºC. A partir de los 45 dds, no existió interacción significativa entre cultivares y temperaturas.

#### 4.1.2.2. Peso de plántulas en estadio de hojas unifoliadas

En la etapa de hoja unifoliada, las temperaturas generaron diferencias estadísticamente significativas en ambos cultivares en estudio, tal como puede observarse en la Tabla 8 donde se evidencia que a temperaturas óptimas de 20 ºC tanto el GRI 6 como el GRI 10 obtuvieron mayores pesos de plántulas en estadío de hojas unifoliadas y los menores valores a 30 ºC.

**Tabla 8.** Peso promedio de plántulas (mg) en hoja unifoliada de dos cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo invernal (GRI 6 y GRI 10) bajo tres condiciones de temperatura (10, 20 y 30° C.

| **Cultivar** | **Temperaturas** | | |
|---|---|---|---|
| GRI | 10 ºC | 20 º C | 30 º C |
| GRI 6 | 4,0 **b** | 6,0 **a** | 2,0 **c** |
| GRI 10 | 4,7 **b** | 8,8 **a** | 2,5 **c** |

*Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (p≤ 0,05).*

### 4.1.3. Hoja trifoliada

#### 4.1.3.1. Días de germinación a emergencia de hojas trifoliadas:

El periodo final de implantación se determinó a través de la aparición de la primer hoja trifoliada, esto se evalúo desde los 20 a los 55 días después de la siembra. Los porcentajes de aparición de las mismas, se presentan en el Tabla 9, donde se observa que hasta los 40 días después de la siembra no hubo diferencias significativas por efecto del cultivar, pero si luego, donde el GRI 6 fue significativamente superior al GRI 10.

En cuanto a la temperatura independientemente del cultivar, no se manifestaron diferencias significativas a los 20 dds, pero sí desde ahí en adelante, ya que a los 25 dds, el

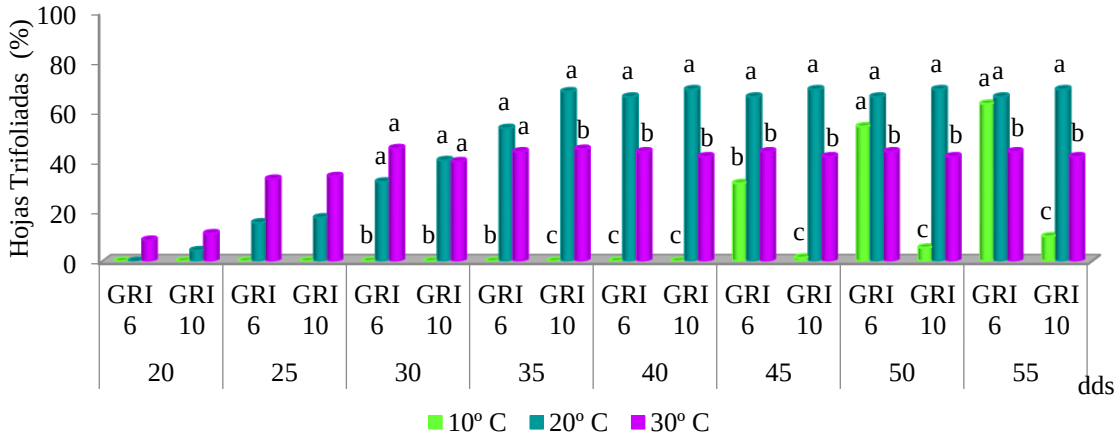
porcentaje de aparición de hojas trifoliadas difirió significativamente en las tres temperaturas; dándose los mayores porcentajes a temperaturas de 30 ºC (33,5 %) y los menores a 10 °C, condición en la cual no se registró desarrollo de dichas hojas. A los 30 dds los porcentajes más altos se dieron a 20 y 30 °C no difiriendo entre sí, pero sí con temperaturas de 10 °C, momento en el cual aún no se evidencia aparición. Desde los 35 días en adelante el porcentaje de hojas trifoliadas fue significativamente mayor y diferente a 20 ºC y los menores resultados a 10 °C, siendo a 30 ºC la situación intermedia. Sólo a los 55 dds esta temperatura no difirió con la de 30 °C las cuales dieron menores resultados comparados con la temperatura óptima de 20 °C.

**Tabla 9.** Porcentaje de aparición de hojas trifoliadas en el tiempo (dds) de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) bajo tres condiciones de temperatura (10 °C, 20 °C y 30 °C).

| Tratamientos | | Tiempo (dds) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 20 | 25 | | 30 | | 35 | | 40 | | 45 | | 50 | | 55 | | |
| Cultivares | Temperaturas | % | | | | | | | | | | | | | | | |
| GRI 6 | 10 | 0 | 0 | b | 0 | b | 0 | b | 0 | c | 31,3 | b | 54,1 | ab | 63,2 | a | |
| | 20 | 0 | 15,5 | ab | 31,9 | a | 53,4 | a | 66 | a | 66 | a | 66 | a | 66 | a | |
| | 30 | 8,5 | 33 | a | 45,3 | a | 44 | a | 44 | b | 44 | b | 44 | b | 44 | b | |
| GRI 10 | 10 | 0 | 0 | b | 0 | b | 0 | c | 0 | c | 1,4 | c | 5,42 | c | 9,93 | c | |
| | 20 | 4,3 | 17,5 | ab | 40,5 | a | 68,1 | a | 69 | a | 69 | a | 69 | a | 69 | a | |
| | 30 | 11,1 | 34,1 | a | 40 | a | 45 | b | 42 | b | 42 | b | 42 | b | 42 | b | |
| Cultivar | GRI 6 | 2,8 | 16,2 | | 25,8 | | 32,5 | | 36,7 | | 47,1 | A | 54,7 | A | 57,7 | A | |
| | GRI 10 | 5,1 | 17,2 | | 26,8 | | 37,7 | | 37 | | 37,5 | B | 38,8 | B | 40,3 | B | |
| Temperatura | 10 | 0 | 0 | C | 0 | B | 0 | C | 0 | C | 16,4 | C | 29,8 | C | 36,6 | B | |
| | 20 | 2,2 | 16,5 | B | 36,2 | A | 60,8 | A | 67,5 | A | 67,5 | A | 67,5 | A | 67,5 | A | |
| | 30 | 9,8 | 33,5 | A | 42,7 | A | 44,5 | B | 43 | B | 43 | B | 43 | B | 43 | B | |
| Significancia | Cultivar | *ns* | *ns* | | *ns* | | *ns* | | *ns* | | * | | * | | * | | |
| | Temperatura | *ns* | * | | * | | * | | * | | * | | * | | * | | |
| | Cultivar x Tº | *ns* | * | | * | | * | | * | | * | | * | | * | | |
| C.V. (%) | | 39,67 | | | | | | | | | | | | | | | |

*Ref: *****: indica diferencias significativas p≤0,05 y ns: no significativa. Letras minúsculas y mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas.*

El efecto de la interacción cultivar por temperatura sobre la tasa de aparición de hojas trifoliadas se puede observar en la Figura 10, en donde se destaca en general que a medida que aumenta la temperatura se acelera la aparición de la primera hoja verdadera, pero en temperaturas extremas los porcentajes están por debajo de los valores alcanzados en temperaturas óptimas (20ºC). A 10°C la aparición de estas hojas se retraza en 45 días, y el GRI 6 fue estadisticamente superior y diferente al GRI 10 desde los 45 dds en adelante.




*Referencia: letras minúsculas encima de las barras indican diferencias significativas (p≤ 0,05).*

**Figura 10.** Porcentaje de aparición de hojas trifoliadas en el tiempo (dds) de dos cultivares de alfalfa GRI 6 y GRI 10 a tres temperaturas (10 °C, 20 °C y 30 °C).

#### 4.1.3.2. Peso de plántulas en estadio de hojas trifoliadas:

En la etapa de hoja trifoliada los mayores pesos de las plántulas se dieron a 10 y 20°C para ambos cultivares y menores a 30 °C (Tabla 10). A 30 °C las plántulas fueron de menor peso independientemente del grupo de reposo invernal, esto se puede atribuir al desarrollo acelerado por la mayor tasa de crecimiento que manifestó con esa temperatura, marcándose más la diferencia en el último estadio analizado.

**Tabla 10.** Peso promedio de plántulas (mg) en hoja trifoliada en dos cultivares de alfalfa GRI 6 y GRI 10 bajo tres temperaturas (10 °C, 20 °C y 30 °C).

| **Cultivar** | **Temperaturas** | | |
|---|---|---|---|
| GRI | 10 ºC | 20 º C | 30 º C |
| GRI 6 | 10,4 **a** | 8,06 **a** | 3,7 **b** |
| GRI 10 | 6,4 **a** | 9,97 **a** | 5,42 **b** |

*Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (p≤ 0,05).*

### 4.2.DISCUSION DE EXPERIMENTO 1

En condiciones controladas en cámara de germinación, en el desarrollo de los distintos estadios de alfalfa: cotiledonar, hoja unifoliada y hoja trifoliada, se observó, a nivel general, que los mejores resultados se obtuvieron a 20 y 30 ºC, retrasándose la aparición de estructuras foliares a 10 ºC, mientras que, a esta temperatura y 20 ºC los pesos de las plántulas fueron significativamente mayores, sin diferencias entre cultivares.

Estos resultados coinciden con lo planteado por Craufurd *et al.,* (2002), el cual define que la temperatura óptima para el crecimiento de alfalfa es de aproximadamente 20 °C, aunque las semillas de alfalfa, pueden germinar en un rango de temperaturas que van desde los 5 °C hasta 35 °C.

La germinación comienza poco después de la siembra, con temperaturas del suelo de aproximadamente 18 °C y adecuada humedad. No se produce germinación cuando las temperaturas del suelo están por debajo de 1,7 °C o por encima de 40 °C (Mueller y Teuber, 2007). Con temperaturas menores a 10 °C o mayores a 35 °C en suelo y aire se afecta la emergencia de las plántulas. Sin embargo, la semilla de alfalfa comienza a germinar a temperaturas de 2 a 3 ºC, siempre y cuando los demás factores (humedad, fertilidad del suelo, disponibilidad de nutrientes, radiación solar entre otros) no actúen como limitantes.

Con una temperatura alrededor de 25 °C se presenta una emergencia más rápida y vigorosa (Pearson y Hunt, 1972), esto coincide con los resultados obtenidos en este ensayo. Cuando se registran temperaturas altas, también se afecta la planta observándose una reducción de brotes a temperaturas mayores a 30 ºC (Zúñiga Alarcón *et al.,* 2012).

Se ha demostrado que temperaturas de 4 ºC sobre la normal (18ºC), provocan un incremento en la producción de MS de plántulas de alfalfa creciendo sin restricciones hídricas y elevadas concentraciones de $CO^2$, debido a la estimulación de la tasa de fotosíntesis, un incremento en área foliar y una mejora en la eficiencia del uso del agua (Aranjuelo *et al.,* 2007).

Pero, un aumento de la temperatura por encima de los 30 °C produce daños en el crecimiento de alfalfa, ya que acelera los procesos. Por lo que se considera que a partir de la emergencia, el desarrollo de las plántulas es óptimo a 20º-25 º C y mínimo entre 5º y 10º C. En consecuencia, las siembras de principios-mediados de otoño son las más adecuadas para que la planta cumpla, sin mayores problemas, con las etapas que van de germinación a primera hoja trifoliada. El período entre cotiledón y hoja unifoliada es el de mayor sensibilidad a las heladas y la tolerancia al frío se incrementa con el contenido de hidratos de carbono en las raíces. Por eso, las siembras tempranas de otoño posibilitan a la planta llegar a las primeras heladas con suficiente cantidad de reservas; en contraposición, las siembras tardías son más riesgosas, dado que la emergencia y el posterior desarrollo de la plántula se harán con temperaturas cercanas al mínimo, pudiendo llegar al período de heladas con un estado de desarrollo insuficiente (Becker, 2004).

En el caso de las siembras primaverales, la misma se realiza sobre un suelo más frío que el del otoño, ya que viene de las bajas temperaturas invernales. Además, en gran parte de la región centro-sur de Córdoba y bajo condiciones normales, el invierno es la estación de menores

precipitaciones, lo que hace que el suelo presente menor contenido hídrico. La combinación de bajas temperaturas del suelo y escasa humedad, retrasan las etapas de germinación y emergencia. Por otro lado, una vez emergidas las plántulas, las condiciones primaverales de mayor temperatura del aire y longitud del día, favorecen el crecimiento del follaje que el de las raíces, lo que desbalancea el desarrollo armónico de la planta (Basigalup, 2016).

Por lo tanto, si bien las siembras de alfalfa en primavera, permiten lograr similares resultados a los obtenidos en siembras de otoño, es necesario, que al momento de la siembra exista una buena provisión de humedad en el suelo y temperatura adecuada como para no afectar la germinación y emergencia. Esto permitirá ganar tiempo en la entrada en producción de esos lotes y mejorar la oferta de pasto de la primavera y el verano (Romero, 2016).

El área foliar en plena expansión es afectada por la temperatura, donde los valores óptimos se obtienen con temperaturas próximas a los 20-25 °C. A temperaturas menores a la óptima, el área foliar disminuye gradualmente y, a temperaturas mayores, disminuye más rápidamente (Cangiano 2007), por lo que es de vital importancia entender las características de la alfalfa con respecto a la tolerancia al frío y la sensibilidad al calor para una producción estable y de mejor calidad. Se considera que la sacarosa cumple un rol importante en la tolerancia de esta especie al frío, pero no al calor, ya que protegería a las células de lesiones ocasionadas por bajas temperaturas en hojas de alfalfa. La sacarosa tiene un efecto significativo en el aumento del potencial osmótico, haciendo que mayor cantidad de agua sea transportada de otras partes de la planta, tales como tallos o raíces, a las hojas. Las bajas temperaturas (5 ºC) aumentan el nivel de sacarosa en las hojas de alfalfa, con lo que se logra un aumento en el potencial agua, permitiendo un mayor transporte de líquidos, especialmente de las raíces a las hojas, beneficiando la integridad de la membrana celular. Con altas temperaturas (35 ºC) se produce un aumento en el contenido de sacarosa, pero se pierde inevitablemente una importante cantidad de agua debido a la alta tasa de transpiración. Por lo tanto, las temperaturas más bajas generan un mayor nivel de sacarosa y una baja tasa de transpiración, lo que puede explicar por qué alfalfa es tolerante al frío pero sensible al estrés por calor (Yiwei *et al.*, 2011).

La temperatura también incide en el peso de las plántulas, tal como se observó en este trabajo, en donde los mayores pesos de plántulas independientemente del estadio fenológico y del cultivar, se dieron en temperaturas óptimas de crecimiento, esto coincide con lo expuesto por Pearson y Hunt (1972), quienes encontraron que las tasas de aumento de peso seco y área foliar fueron mayores a 20/15°C que a 30/25 °C, lo mismo que la tasa de expansión de las hojas, pero el número de hojas producidas por unidad de tiempo o área fue inferior a 20/15 °C que a 30/25 °C.

Otro aspecto a considerar es el desarrollo de esta especie, son los cultivares, los cuales pueden tener un comportamiento diferencial dependiendo de la combinación de factores, tales como temperatura y fotoperiodo, así como también la disponibilidad de elementos nutritivos como nitrógeno, fósforo y potasio (Zúñiga Alarcon *et al.*, 2012). En cuanto a los cultivares, en general, no hubo diferencias en relación a la respuesta a distintas temperaturas, ya sea en el desarrollo como en el crecimiento de cada una de las etapas; esto no coincide con lo expuesto por (Mueller y Teuber, 2007), quienes indican que el desarrollo de las plántulas de cultivares con reposo invernal está influenciado por el fotoperíodo y la temperatura del suelo, mientras que el desarrollo de plántulas de cultivares sin reposo invernal es independiente del fotoperiodo pero está influenciada por la temperatura del suelo. Los autores plantean que, si bien las temperaturas óptimas para el desarrollo de plántulas de alfalfa están en el rango de 20 a 22 °C la temperatura óptima va a depender del cultivar, ya que los cultivares con reposo invernal tendrían temperaturas óptimas más bajas durante la fase inicial de crecimiento que en cultivares sin reposo, lo cual no quedo de manifiesto en este experimento.

## 4.3. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 2

### 4.3.1. Características climáticas del periodo de evaluación:

Para caracterizar el período de estudio (2011-2013) con respecto a la serie histórica (1977-2006) en Río Cuarto, Córdoba Argentina, se compararon las temperaturas y precipitaciones para cada una de las siembras y en los años de estudio.

#### 4.3.1.1. Características climáticas de las siembras de primavera (SP)

Las siembras de primavera se realizaron en el año 1 el 23 de septiembre de 2011 y en el año 2 el 03 de octubre de 2013. Las temperaturas medias mensuales durante los meses de septiembre a diciembre, período entre siembra y primer aprovechamiento, fueron superiores en los dos años de estudio comparado con los datos históricos 1977-2006 (Figura 11).

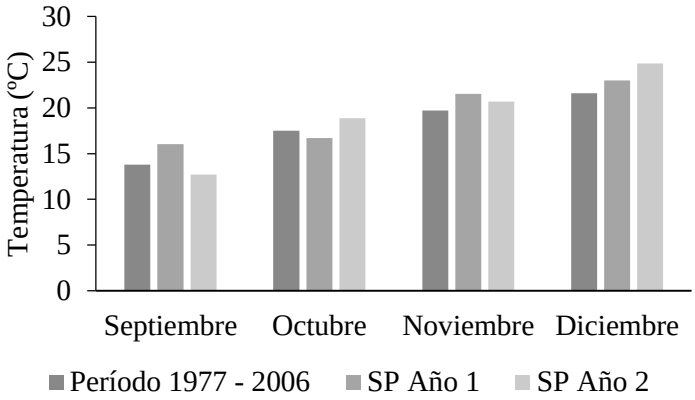



**Figura 11.** Temperatura media decádica durante dos años de estudio (Año 1: 2011, Año 2: 2013) para siembras de primavera (SP) en el área experimental del ensayo, comparadas con los promedios del ciclo1977/2006 en Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Las temperaturas medias decádicas de los dos años de estudio comparados con los valores históricos, muestran que en la primera década de septiembre las temperaturas medias de los dos años fueron superiores a la media histórica, mientras que en las otras dos décadas el año 1 presentó mayores valores que el histórico y el año 2 menores. En el mes de octubre el año 1 tuvo valores de temperatura media mayores a los datos históricos mientras que el año dos siempre, durante este mes, fue inferior. En los meses de noviembre y diciembre ambos años presentaron valores mayores a la media histórica de temperatura (Figura 12).

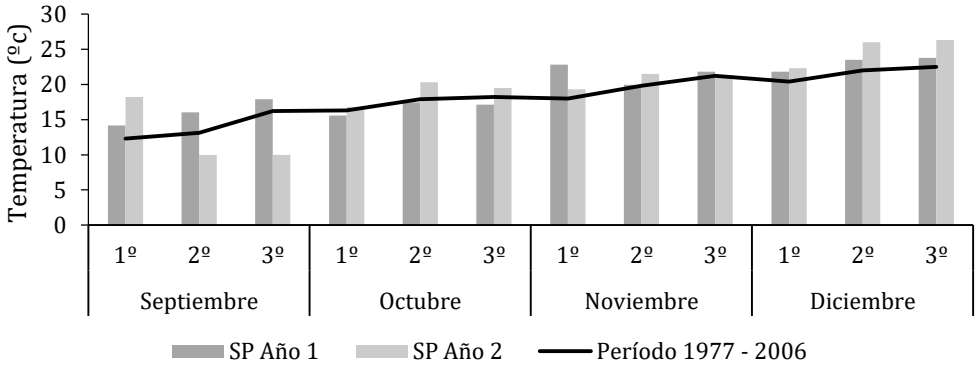



**Figura 12.** Temperatura media mensual durante los dos años de estudio (Año 1: 2011, Año 2: 2013) para siembras de primavera (SP) en el área experimental del ensayo, comparadas con los promedios del ciclo 1977/2006 en Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

La suma de precipitaciones en el ciclo septiembre - diciembre para el año 1 fue de 284 mm, el 80 % de la media histórica (355 mm), y para el año 2 fue de 346 mm, el 97,5% de la media histórica (Figura 13).

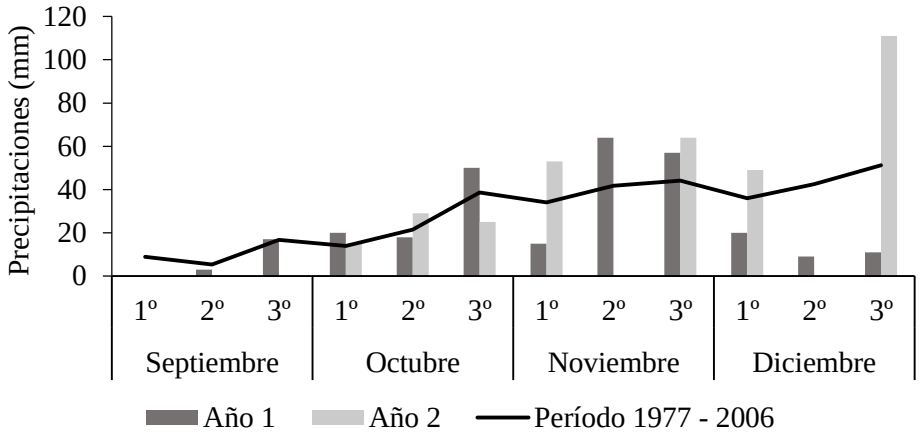



**Figura 13.** Precipitación decádica durante los dos años de estudio (Año 1: 2011, Año 2: 2013) para siembras de primavera (SP) en el área experimental del ensayo, comparadas con los promedios del ciclo 1977/2006 en Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

#### 4.3.1.2. Características climáticas de las siembras de otoño (SO)

Las siembras de otoño fueron en el año 1 el 15 de marzo de 2012 y en el año 2 el 06 de abril de 2013. Las temperaturas medias mensuales durante los meses de marzo a noviembre, periodo entre siembra y primer aprovechamiento, fueron de 14,67 ºC para el año 1 y de 14,93 ºC para el año 2, siendo similares a la media histórica de 1977/2006 (14,40 ºC) (Figura 14).

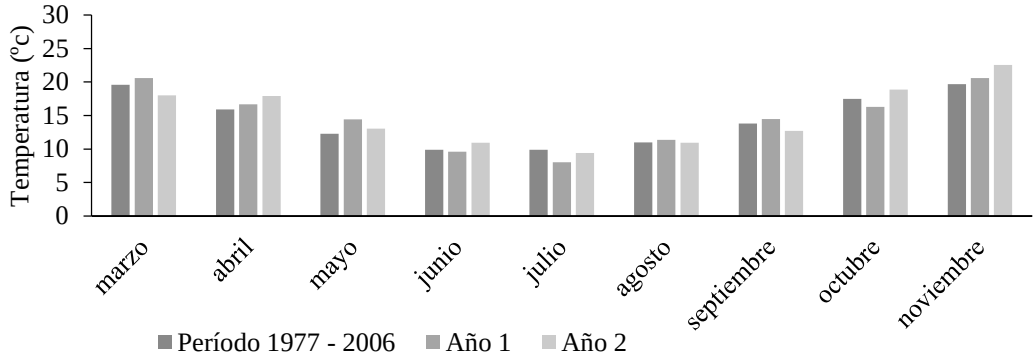



**Figura 14.** Temperatura media mensual durante los dos años de estudio (Año 1: 2011, Año 2: 2013) para siembras de Otoño (SO) en el área experimental del ensayo, comparadas con los promedios del ciclo1977/2006 en Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Las temperaturas medias decádicas de los dos años de estudio que se observan en la Figura 15 muestran que son similares a los valores históricos.

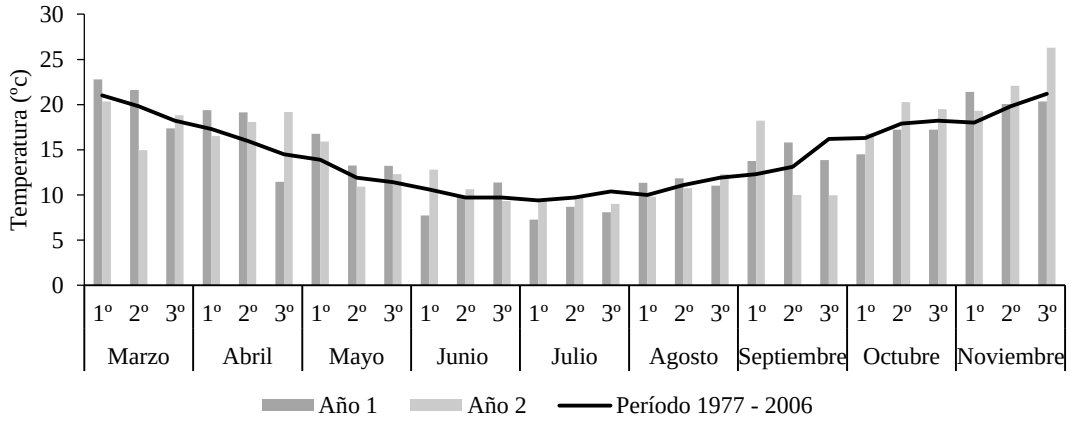



**Figura 15.** Temperatura media decádicas durante los dos años de estudio (Año 1: 2011, Año 2: 2013) para las siembras de Otoño (SO) en el área experimental del ensayo, comparadas con los promedios del ciclo 1977/2006 en Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

La suma de precipitaciones en el ciclo marzo-noviembre para el año 1 fue de 579 mm, un 30 % más que la media histórica (446,5 mm), y para el año 2 fue de 376 mm, el 84 % de la media histórica (Figura 16).

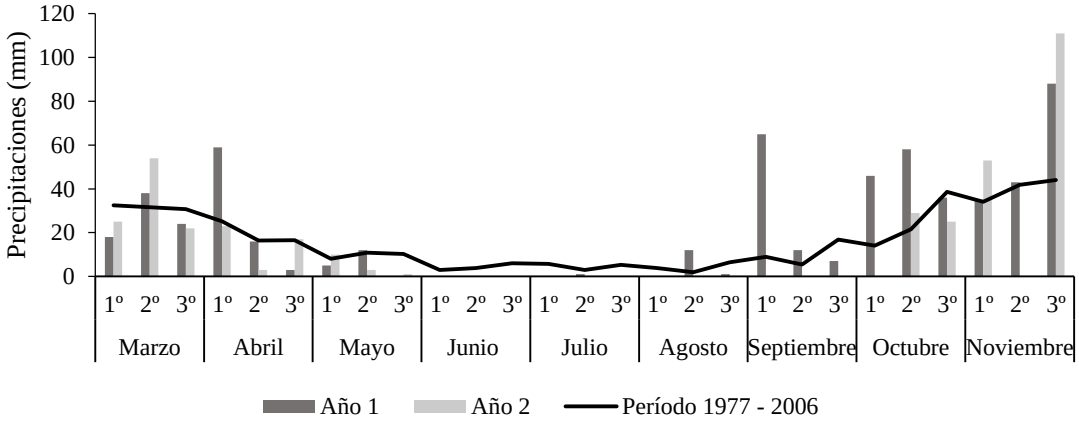
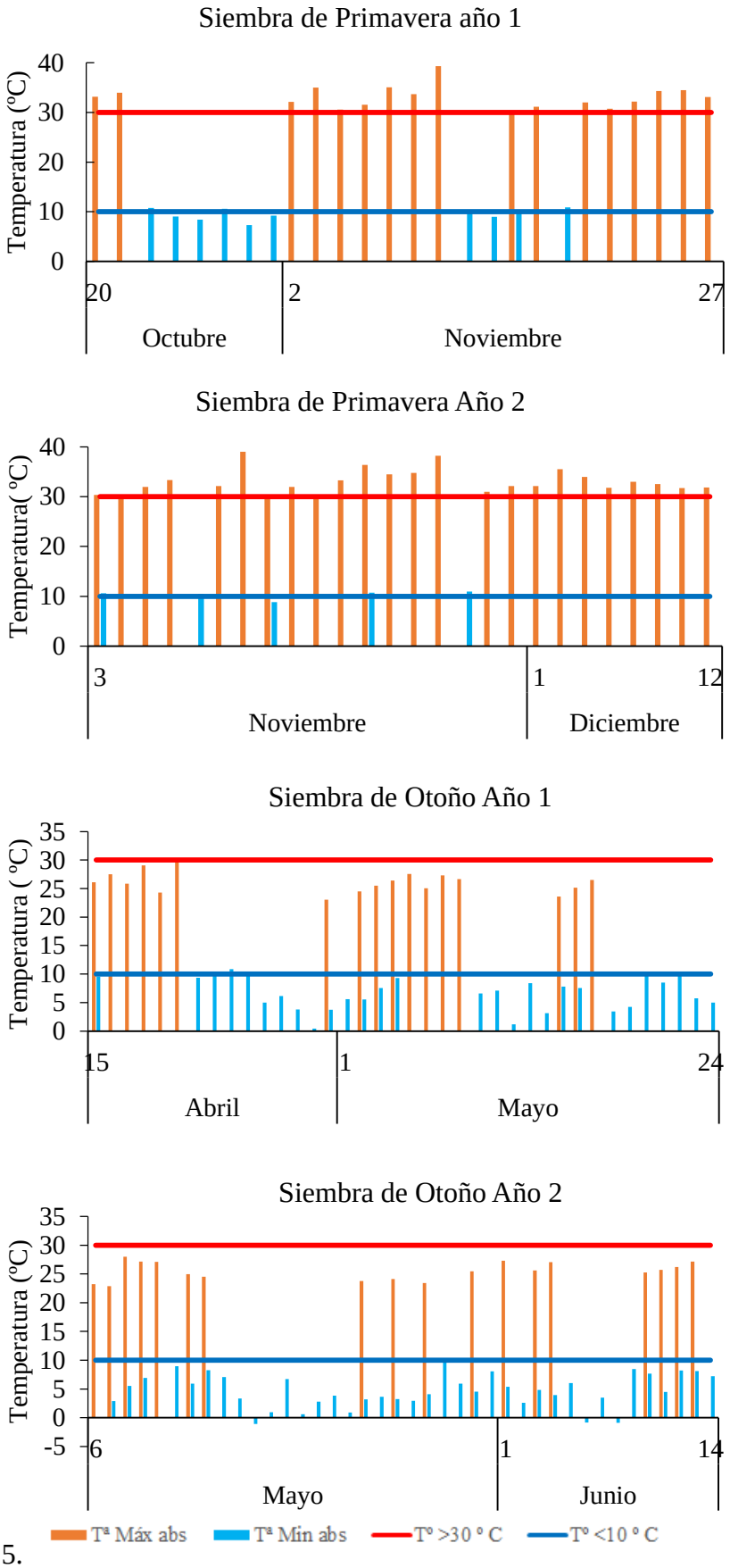



**Figura 16.** Precipitaciones medias decádicas durante los dos años de estudio (Año 1: 2011, Año 2: 2013) en comparación con los promedios del ciclo 1977/2006 en Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Tal como puede observarse en la Figura 17, las temperaturas mínimas absolutas en ese período de evaluación, fueron sensiblemente más bajas en otoño que en primavera para ambos años de estudio, y en esta última se mantuvieron por encima de los 5 ºC. En la siembra de primavera del año 1, se registraron 17 días en total con temperaturas máximas absolutas superiores a 30 ºC de los cuales la mayoría se registraron en el mes de noviembre y 10 días con temperaturas por debajo de los 10 ºC.




5.

**Figura 17.** Temperaturas máximas y mínimas absolutas en el período comprendido entre los 30 y 60 días después de la siembra (dds) para cada época.

En la siembra de primavera del año 2, se dieron 24 días con temperaturas máximas absolutas mayores a 30 ºC distribuidas entre los meses de noviembre y diciembre y 5 días con temperaturas menores a 10 ºC. Por el contrario en otoño, las temperaturas máximas absolutas no superaron los 30 ºC y los días con mayores registros variaron entre 24 ºC y 29 ºC en ambos años de evaluación. Mientras que los días con temperaturas menores a 10 ºC fueron entre 28 y 38 días para cada año en estudio.

### 4.3.2. Análisis de calidad de semillas

Previo a la siembra en cada una de las épocas, se realizó el análisis de la calidad de las semillas, mediante el test patrón de germinación para corroborar los valores de poder germinativo (PG) y energía germinativa (EG) y de ese modo realizar el correcto cálculo de densidad de siembra (Tabla 11).

**Tabla 11.** Calidad de semillas según Normas ISTA y densidad de siembra (kg ha $^{-1}$) de los dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) previo a las siembras de primavera (SP) y otoño (SO) para los dos años de evaluación.

| Época de siembra | Año | Cultivares | EG (%) | PG (%) | PMS (g) | VC | Semillas viables m$^{-2}$ | Densidad (Kg ha$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SP | 1 | GRI 6 | 67 | 69 | 3,2 | 67,6 | 290 | 13,8 |
| | | GRI 10 | 81 | 83 | 3,6 | 81,3 | 314 | 13,8 |
| | 2 | GRI 6 | 73 | 85 | 3,5 | 83,8 | 323 | 13,5 |
| | | GRI 10 | 80 | 81 | 3,6 | 79,9 | 302 | 13,5 |
| SO | 1 | GRI 6 | 70 | 69 | 3,2 | 67,62 | 290 | 13,8 |
| | | GRI 10 | 85 | 83 | 3,6 | 81,34 | 314 | 13,8 |
| | 2 | GRI 6 | 68 | 85 | 3,5 | 83,8 | 323 | 13,5 |
| | | GRI 10 | 80 | 81 | 3,5 | 79,9 | 302 | 13,5 |

EG= energía germinativa, PG= poder germinativo, PMS= peso de mil semillas y VC= valor cultural.

### 4.3.3. Eficiencia de emergencia y de implantación

El porcentaje de plántulas emergidas y la eficiencia de emergencia, a los 30 días desde la siembra no fueron influenciados por el cultivar, pero si por la época de siembra, el año y la interacción de las tres variables. Tal como se observa en la Tabla 12, en las siembras de primavera se obtuvo un mayor número de plántulas emergidas (218 pl m$^{-2}$), y una mayor eficiencia de emergencia (71,1 %), comparado con las siembras de otoño, donde las plántulas emergidas fueron 176 pl-m$^{-2}$ y la eficiencia fue del 57,8 %. Al analizar los años por separado, se evidencia la misma tendencia. Los valores del año 1 de estudio fueron superiores

estadísticamente al año 2, siendo de 215 pl-m$^{-2}$ el stand obtenido en el año 1 con una eficiencia del 71,3 % y de 179 pl-m$^{-2}$ para el año 2 con 57,5 % de eficiencia de emergencia. Se puede observar interacción entre las tres variables, ya que el stand de plantas emergidas en el cultivar GRI 6 y cultivar GRI 10 en las siembras de otoño durante el año 1 fue mayor a las obtenidas en el año 2.

**Tabla 12.** Número de plantas emergidas (pl m$^{-2}$) y eficiencia (%) a los 30 y 60 días desde la siembra de cultivares de alfalfa con diferentes grado de reposo invernal (GRI) en siembras en otoño y primavera para dos años de evaluación.

| Tratamientos | | | Días desde la siembra | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 30 días | | | | 60 días | | | |
| Cultivar | Época de Siembra | Año | Plantas emergidas (pl/m$^2$) | | Eficiencia (%) | | Plantas emergidas (pl/m$^2$) | | Eficiencia (%) | |
| GRI 6 | Primavera | 1 | 216 | | 74,4 | | 143 | | 49,5 | |
| | | 2 | 207 | | 64,1 | | 107 | | 33 | |
| | Otoño | 1 | 213 | a | 73,5 | a | 281 | a | 96,8 | a |
| | | 2 | 129 | b | 40 | b | 199 | b | 61,7 | b |
| GRI 10 | Primavera | 1 | 223 | | 71,2 | | 152 | a | 48,5 | |
| | | 2 | 225 | | 74,7 | | 108 | b | 35,7 | |
| | Otoño | 1 | 208 | a | 66,1 | a | 226 | | 72 | |
| | | 2 | 155 | b | 51,3 | b | 216 | | 71,5 | |
| Cultivar | GRI 6 | | 191 | | 63 | | 183 | | 60,3 | |
| | GRI 10 | | 203 | | 65,8 | | 176 | | 56,9 | |
| Época de Siembra | Primavera | | 218 | A | 71,1 | A | 128 | B | 41,7 | B |
| | Otoño | | 176 | B | 57,8 | B | 230 | A | 75,5 | A |
| Año | 1 | | 215 | A | 71,3 | A | 201 | A | 66,7 | A |
| | 2 | | 179 | B | 57,5 | B | 157 | B | 50,5 | B |
| Significancia | Cultivar | | *ns* | | *ns* | | *ns* | | *ns* | |
| | Época de siembra | | * | | * | | * | | * | |
| | Año | | * | | * | | * | | * | |
| | Cultivar x época x año | | * | | * | | * | | * | |

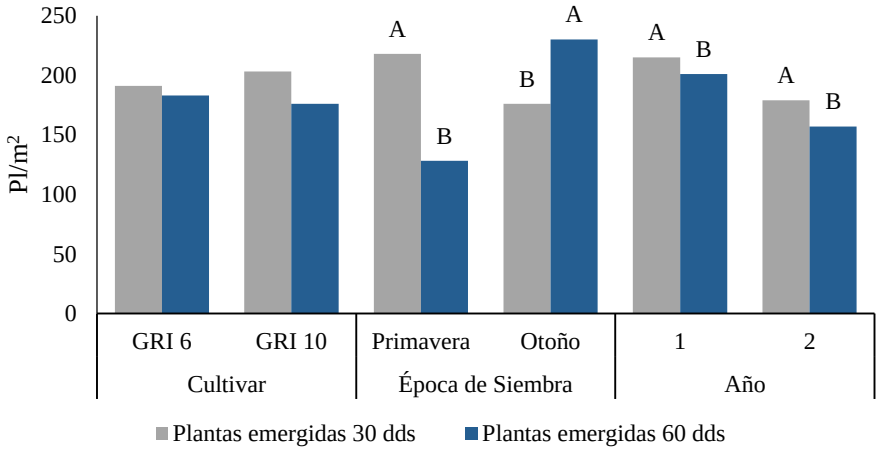
*Ref:. Letras diferentes indican diferencias significativas (p≤ 0,05).ns: indica diferencias no significativas; * diferencias significativas (p≤0,05).*

A los 60 días después de la siembra, el porcentaje de plantas emergidas no difirió por efecto del cultivar, pero si en las dos épocas de siembra, en los dos años y en la interacción entre las tres variables. El stand de plantas y la eficiencia de implantación, fueron significativamente mayores en las siembras de otoño, con 230 pl m$^{-2}$ y 75,5 % respectivamente, mientras que para las siembras de primavera el stand de plantas fue de 128 pl m$^{-2}$ con 41,7 % de eficiencia de implantación. Esto demuestra que en las siembras de otoño el número de plantas continuó incrementándose entre los 30 y 60 días desde la siembra, mientras que en las siembras

de primavera hubo una disminución en el número de plantas emergidas y por lo tanto la eficiencia fue significativamente menor.

En cuanto a la interacción entre las tres variables analizadas, solo se observa una diferencia en el cultivar GRI 6 durante las siembras de otoño entre los años 1 y 2, siendo el número de plantas emergidas para el primer año de 281 pl $m^{-2}$ con una eficiencia del 96,8%, mientras que para el segundo año los valores fueron de 199 pl $m^{-2}$ y 61,7% y para el cultivar GRI 10 en las siembras de primavera, difiriendo entre los años, ya que el año 1 las plantas emergidas fueron de 152 pl $m^{-2}$ y de 108 pl $m^{-2}$ para el año 2, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre las eficiencias.

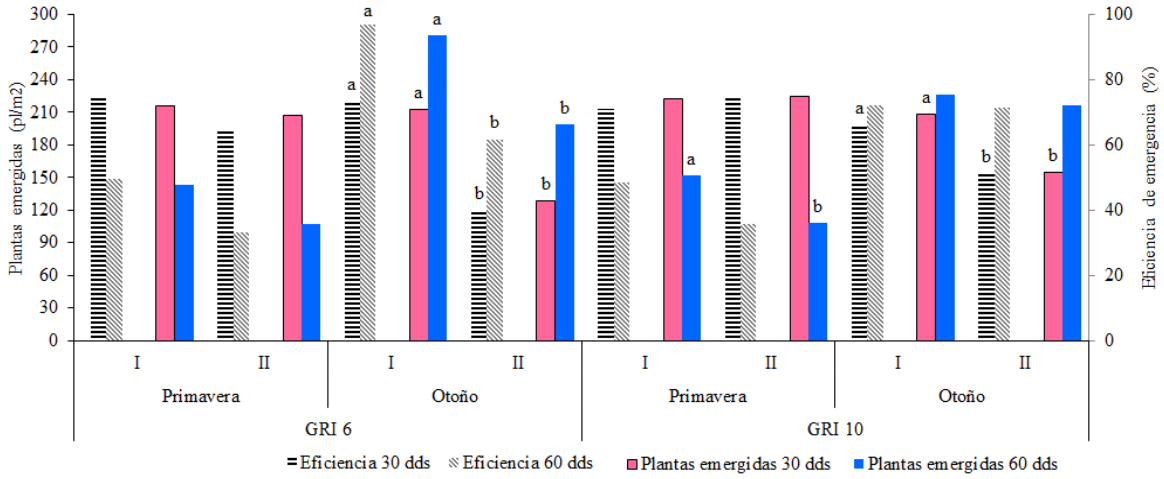
En la Figura 18 se presentan gráficamente los resultados obtenidos y se corresponden a cada una de las variables evaluadas, independientemente de la interacción.




*Referencia: letras mayusculas sobre las barras indican diferencias significativas (p≤ 0,05)*

**Figura 18.** Stand de plantas de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño).

Los efectos de las interacciones de las variables evaluadas, sobre el stand de plantas y eficiencia de siembra a los 30 y 60 días de la misma, se presentan en la Figura 19. Como se planteó anteriormente, a los 30 dds el número de plantas emergidas y la eficiencia de emergencia fue significativamente mayor en siembras de primavera, mientras que, a los 60 días fueron menores (p≤0.005) que las siembras de otoño. Analizando los valores de los cultivares, para el GRI 6, no se observaron diferencias en las siembras de primavera de los dos años, pero si en siembras de otoño donde el stand de plantas y la eficiencia de siembra fue mayor en el año 1 a los 30 y 60 dds. En siembras de primavera con el cultivar GRI 10, solo se observaron diferencias significativas entre años en el stand de plantas a los 60 dds.




*Referencia: letras minúsculas encima de las barras indican diferencias significativas (p≤ 0,05)*

**Figura 19.** Stand de plantas y eficiencia de emergencia e implantación de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño).

El stand de plantas logradas promedio en el establecimiento fue de 190 pl $m^{-2}$ con una eficiencia del 62 %, dichos valores son considerados aceptables en condiciones de campo. Comparando estos resultados con otros estudios en siembras bajo riego, informan que con una densidad de 286 semillas viables, se logró una eficiencia de establecimiento a los 119 días desde la siembra del 77 % y en la primavera estos valores cayeron a 51 % (Sevilla *et al*., 2002). Resultados similares fueron reportados por Romero *et al*. (2008) y Cormacchione y Pérez (2004).

El efecto año fue muy marcado en las siembras de otoño en cuanto al número de plantas y la eficiencia de implantación, las condiciones hídricas en esta época no fueron tan favorables como las de primavera. El mayor stand de plantas logrados en siembras de primavera a los 30 dds, y el comportamiento inverso en siembras de otoño a los 60 dds, se explica por las mejores condiciones hídricas a la siembra y por las temperaturas máximas absolutas en las siembras de primavera (Figuras 13, 16, 17), ya que si bien las malezas podrían haber incidido en el stand de plantas, en este ensayo no se manifestó, ya que se partió de un lote limpio y un adecuado control de las mismas durante el periodo de establecimiento del cultivo.

Las temperaturas del aire y suelo aparecen como responsables de los efectos producidos durante la emergencia y establecimiento del cultivo de alfalfa. Se ha demostrado que, cuando las temperaturas son elevadas, los valores térmicos foliares pueden ser superiores a los 41°C a las 14 horas en algunas especies, este calentamiento foliar excesivo durante 4 días seguidos, puede ocasionar un importante número de plántulas muertas en aquellas forrajeras más sensibles (Formoso, 2006).

Con la finalidad de explorar mecanismos de adaptación de alfalfa a estrés por frío y calor, Yiwei *et al.* (2011) estudiaron el metabolismo de la sacarosa y el contenido relativo de agua en las hojas de plántulas de alfalfa de 35 días de crecimiento. Estas fueron sometidas a temperaturas extremas de 5 y 33 ºC con un tratamiento control a 25 ºC. Los resultados sugieren que el estrés por bajas temperaturas produce un gran incremento del contenido relativo del agua en las hojas provocando una disminución en el potencial agua y la transpiración, lo cual puede explicar la razón por la que las plántulas de alfalfa son más tolerantes a frío, pero, sensibles a las altas temperaturas. En plantas de alfalfa de un mes de crecimiento a temperaturas (25/15 y 28/18 °C, día/noche) y diferentes regímenes de disponibilidad de agua (control y sequía), Aranjuelo, *et al*. (2007) indican que elevadas temperaturas y sequía reducen el peso seco de la planta y el área foliar, especialmente si ambos tipo de estrés están asociados.

Las bajas temperaturas generan demoras en el establecimiento y permiten una mayor competencia con las malezas, así es que a 5° el cultivo de alfalfa tarda en alcanzar el 75 % de germinación a los 10 días, a 10 °C demora 4 días y a 20 °C ese valor se alcanza en solo 2 días. Es normal observar aproximadamente a los 20 días después de la siembra, que la densidad de plántulas logradas es alta, dado que alfalfa germina y se establece rápidamente, manifestando así su agresividad en el estadio de plántula, pero luego estos valores descienden, ya sea por competencia intra e interespecífica, plagas y/o enfermedades (Cangiano, 2002). Con relación al efecto de las enfermedades en el establecimiento, Cangiano (1991 y 1994), observó que en siembras otoñales de alfalfa en Balcarce se produjo una severa muerte de plántulas por damping off a partir de los 30 a 60 dds, a medida que las condiciones ambientales y edáficas se tornan más frescas y húmedas y los cultivares sin reposo invernal, serían más sensibles. Esta diferencia no se manifestó en el presente trabajo, ya que no hubo diferencias estadísticas entre los cultivares evaluados y si bien se evidenciaron problemas relacionados a la enfermedad, no fueron de gran magnitud. Mediante cuatro experimentos realizados por Cangiano *et al.* (1996) en Balcarce, se evaluó la eficiencia de implantación de cultivares de distinto GRI durante 4 fechas de siembra (27/9, 2/5, 31/5 y 28/8) los resultados obtenidos fueron que las siembras primaverales alcanzaron mayores valores de plantas por metro. Otros ensayos realizados en Balcarce por Cangiano (2002), donde se evaluó 8 fechas de siembra desde marzo a noviembre con dos cultivares de alfalfa (GRI 4 y GRI 9), ajustando la densidad de siembra a 12 kg $ha^{-1}$ y evaluando la eficiencia de implantación, encontró que en todas las siembras se logró un rápido establecimiento de plántulas seguido de una disminución de la densidad, para luego estabilizarse en el corto plazo. En todos los casos, el cultivar GRI 9, obtuvo los menores valores, lo que coincide con lo planteado de que los cultivares de reposo invernal corto tienen mayores

problemas de implantación que los de reposo largo, estas diferencias fueron menores en siembras de primavera. En relación a esto, en este experimento queda de manifiesto el tiempo que requiere el cultivo para estabilizarse y obtener el stand de plantas finales; esto fue influenciado por la época de siembra y el año, pero no por los cultivares evaluados.

### 4.3.4. Establecimiento, relación Aéreo-Raíz:

El peso seco de la raíz, el peso de la parte aérea, la relación aéreo/raíz y el peso total de la planta a los 60 días desde la siembra, fueron afectados significativamente por la época de siembra y la interacción cultivar x época x año, ya que se observó que en otoño los pesos de todos los órganos evaluados y el peso total de la planta fueron mayores ($p \leq 0,05$) que en primavera, siendo en esta última mayor la relación aéreo/raíz (Tabla 13).

**Tabla 13.** Peso de raíz (mg $pl^{-1}$), peso de parte aérea (mg $pl^{-1}$), relación parte aérea/raíz y peso total/planta (mg $pl^{-1}$) a los 60 días de establecimiento de alfalfa en cultivares con diferente GRI en siembras de otoño y primavera en dos años.

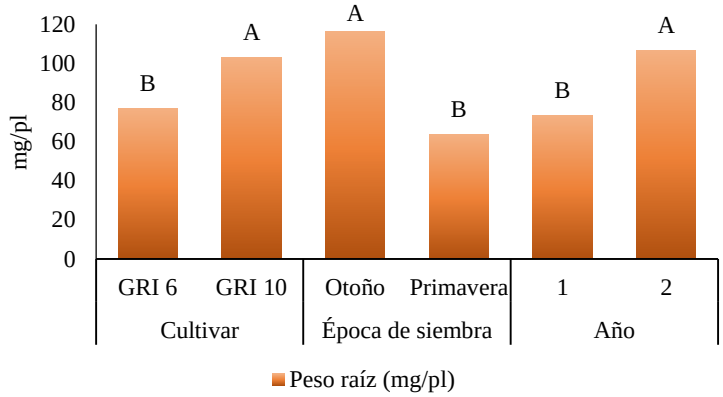
| Tratamientos | | | Peso raíz (mg/pl) | | Peso aéreo (mg/pl) | | Relación parte aérea/raíz | | Peso Total/Planta (mg/pl) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cultivares | Época de siembra | Año | | | | | | | | |
| GRI 6 | Primavera | 1 | 40,9 | | 262,5 | b | 6,5 | | 303,4 | b |
| | | 2 | 85,4 | | 547,1 | a | 6,5 | | 632,6 | a |
| | Otoño | 1 | 76,0 | c | 486,9 | | 6,5 | | 526,9 | |
| | | 2 | 105,3 | b | 535,2 | | 6,4 | | 640,5 | |
| GRI 10 | Primavera | 1 | 56,1 | | 404,7 | | 6,9 | | 460,8 | |
| | | 2 | 73,0 | | 487,4 | | 6,6 | | 560,4 | |
| | Otoño | 1 | 120,7 | b | 672,2 | | 5,6 | a | 792,7 | |
| | | 2 | 162,8 | a | 630,2 | | 4,5 | b | 793,0 | |
| Cultivar | GRI 6 | | 76,9 | B | 457,9 | | 6,5 | | 584,3 | B |
| | GRI 10 | | 103,1 | A | 548,6 | | 5,9 | | 651,7 | A |
| Época de siembra | Otoño | | 116,2 | A | 581,1 | A | 5,7 | B | 697,3 | A |
| | Primavera | | 63,9 | B | 425,4 | B | 6,6 | A | 489,3 | B |
| Año | 1 | | 73,4 | B | 456,6 | | 6,4 | | 529,9 | B |
| | 2 | | 106,6 | A | 550,0 | | 6,0 | | 656,6 | A |
| Significancia | Cultivar | | * | | *ns* | | *ns* | | * | |
| | Época de siembra | | * | | * | | * | | * | |
| | Año | | * | | *ns* | | *ns* | | * | |
| | Cultivar x Época x Año | | * | | * | | * | | * | |

*Ref: ns: indica diferencias no significativas; * diferencias significativas ($p \leq 0,05$).*

El peso de la raíz se vio afectado por el cultivar, época de siembra, año e interacción, el GRI 10 presentó mayor peso de raíz que el GRI 6 (103,1 y 76,9 mg $pl^{-1}$, respectivamente), las

siembras de otoño fueron superiores a las de primavera en relación a este parámetro (116,1 y 63,9 mg $pl^{-1}$, respectivamente), y en el año 2 fue mayor el peso de raíces que en el año 1 (106,7 y 73,4 mg $pl^{-1}$, respectivamente). En cuanto a la interacción de todas las variables, el peso de raíz difirió. El GRI 6 sembrado en otoño en el año 2 fue superior al año 1 (105,3 y 76 mg $pl^{-1}$, respectivamente) y en el peso de raíz del cultivar GRI 10 sembrado en otoño en el año 2 superior al año 1 (162,8 y 120,7 mg $pl^{-1}$, respectivamente).

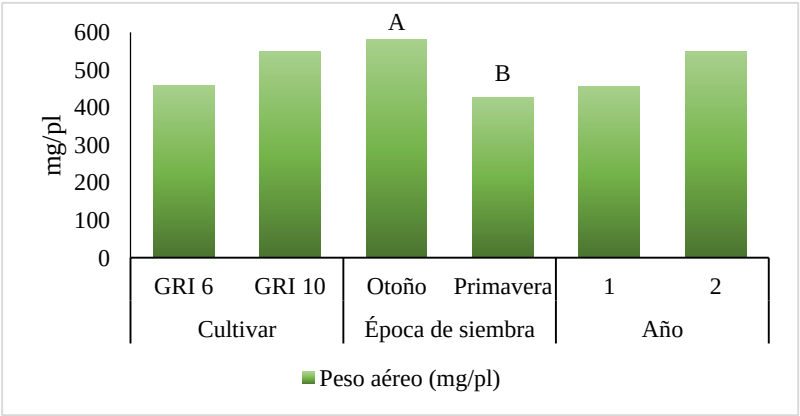
En la Figura 20 se presentan gráficamente los resultados comentados en los párrafos anteriores y correspondientes a la Tabla 14, de cada variable evaluada por separado, independientemente de la interacción.




*Referencia: letras mayusculas sobre las barras indican diferencias significativas (p≤ 0,05)*

**Figura 20.** Peso de raíz (mg $pl^{-1}$) de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño).

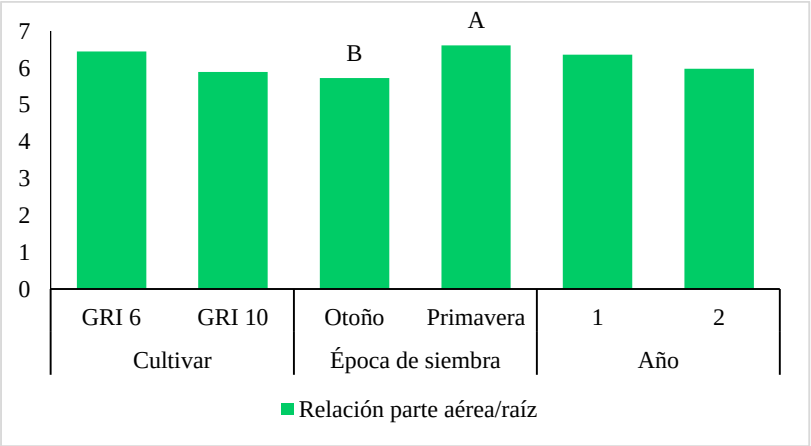
El peso aéreo no difirió entre cultivares y año, pero si se vio afectado significativamente por la época de siembra y la interacción entre cultivar x época de siembra x año (Figura 21). Las siembras de otoño presentaron los mayores pesos aéreos y el cultivar GRI 6 en las siembras de primavera difirió entre los años 1 y 2 (262,5 y 547,1 mg $pl^{-}1$, respectivamente para cada año).




*Referencia: letras mayusculas sobre las barras indican diferencias significativas (p≤ 0,05)*

**Figura 21.** Peso aéreo (mg $pl^{-1}$) de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño).

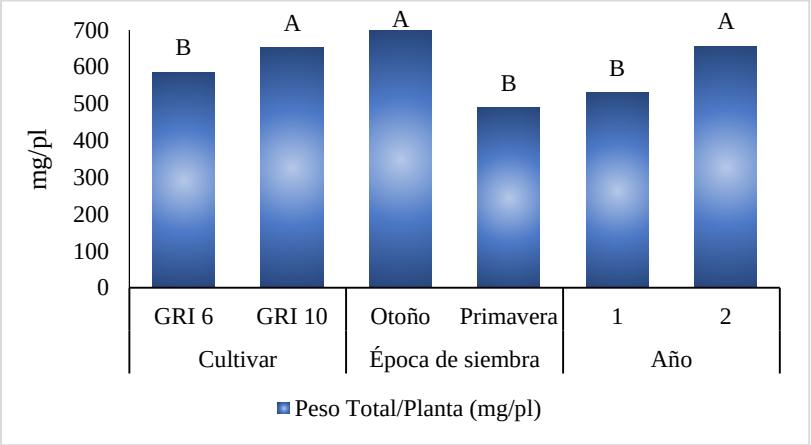
La relación parte aérea/raíz no manifestó diferencias entre cultivares y año, pero tuvo efecto significativo la época de siembra y las interacciones, ya que en este caso la mayor relación aéreo/raíz se dio en las siembras de primavera (Figura 22) y en el cultivar GRI 10 en las siembras de otoño difirieron los dos años (5,60 para el año 1 y 4,47 para el año 2).




*Referencia: letras mayusculas sobre las barras indican diferencias significativas (p≤ 0,05)*

**Figura 22.** Relación parte aérea / raíz de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño).

El peso total de la planta al igual que el peso de la raíz se vio afectado por el cultivar, época de siembra y año, ya que el mayor peso total de la planta se dio en el cultivar GRI 10, en las siembras de otoño y en el segundo año (Figura 23). También hubo efecto de la interacción entre las variables ya que el peso de la planta en el cultivar GRI 6 sembrado en primavera en el año 2 fue superior al año 1.




*Referencia: letras mayusculas sobre las barras indican diferencias significativas (p≤ 0,05)*

**Figura 23.** Peso total de plántulas (mg $pl^{-1}$) de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño).

En relación a estos resultados, Basigalup (2016), plantea que las siembras de marzo-abril permiten a la planta un desarrollo armónico entre las partes aérea (follaje) y subterránea

(raíces y parte de la corona), ya que el calor acumulado durante el verano permite al suelo tener temperaturas lo suficientemente altas para favorecer la germinación y el desarrollo del sistema radical antes de las heladas; complementariamente, la temperatura del aire y el largo de los días otoñales hacen que también la parte aérea se desarrolle adecuadamente y en consonancia con el crecimiento subterráneo.

En el caso de las siembras primaverales, todo lo anteriormente descripto sufre modificaciones importantes. En primer lugar, la siembra se lleva a cabo en un suelo más frío que el del otoño, ya que le preceden bajas temperaturas invernales. Además, en la región centro-sur de Córdoba y bajo condiciones normales, el invierno es la estación de menos precipitaciones, lo que haría que también el suelo esté seco. La combinación de bajas temperaturas del suelo y escasa humedad en años normales, retrasan las etapas de germinación y emergencia. Por otro lado, una vez emergidas las plántulas, las condiciones primaverales de mayores temperaturas del aire y mayor longitud del día, favorecen más el crecimiento del follaje que el de las raíces, lo que desbalancea el desarrollo armónico de la planta.

Si bien los requerimientos de temperatura y humedad para la germinación y desarrollo de alfalfa, permiten considerar a la primavera como una época de siembra alternativa, los procesos de crecimiento y desarrollo de las plántulas son distintos a los observados en siembra de otoño. La temperatura y el largo del día son los factores que definen la relación entre el crecimiento de las partes aéreas y subterráneas de la planta (Pearson y Hunt, 1972). En los primeros 60 días de establecimiento, los resultados obtenidos confirman cambios en el crecimiento de las plántulas de alfalfa, donde el peso de ambos órganos y de la planta entera fue mayor en otoño que en primavera.

Resultados similares son planteados por Becker (2004), quien indica que el desarrollo inicial de la alfalfa en siembras de primavera es más sensible a la competencia con malezas por nutrientes, luz y humedad comparado con siembras otoñales. Esta competencia, afecta el número de plantas logradas, la longevidad de las mismas y el rendimiento del cultivo. Además, este autor también indica que con siembras de fines de verano se favorece el crecimiento de raíces por sobre la producción de tallos y hojas, mejorando notablemente la eficiencia de implantación en esta época en la que disminuye la cantidad de horas de luz. Al llegar la primavera-verano, las plantas tienen un sistema radical bien desarrollado y adecuadas reservas de energía que les permite ocupar el espacio y competir mejor con las malezas. La construcción de este sistema radical y el desarrollo de la corona, a partir del cual se produce el rebrote de primavera, son un paso esencial para el futuro productivo del cultivo.

Aranjuelo, *et al*. (2007), indican que alfalfa presenta una baja tolerancia a las altas temperaturas, las cuales pueden afectar en gran medida el crecimiento de las plantas, la productividad e incluso su distribución en el tiempo. Fue demostrado que elevando la temperatura 4 ºC por encima de su óptimo (20 ºC) se promueve la tasa fotosintética y por lo tanto acumulación de MS, pero por encima de 30 °C, se producen daños sobre el crecimiento de las plántulas.

### 4.3.5. Estadio Medio de Conteo (EMC)

El EMC se evaluó hasta el primer corte en ambas siembras y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Estadio medio de conteo (EMC) al primer corte de alfalfa en cultivares con diferente GRI en siembras de otoño y primavera en dos años.

| Cultivares | Época de Siembra | Año | EMC | |
|---|---|---|---|---|
| GRI 6 | Primavera | 1 | 1,08 | c |
| | | 2 | 1,56 | b |
| | Otoño | 1 | 2,12 | a |
| | | 2 | 1,50 | b |
| GRI 10 | Primavera | 1 | 1,18 | c |
| | | 2 | 1,43 | b |
| | Otoño | 1 | 2,26 | a |
| | | 2 | 1,62 | b |
| Cultivar | GRI 6 | | 1,56 | |
| | GRI 10 | | 1,62 | |
| Época de siembra | Otoño | | 1,87 | A |
| | Primavera | | 1,31 | B |
| Año | 1 | | 1,66 | A |
| | 2 | | 1,53 | B |
| Significancia | Cultivar | | *ns* | |
| | Época de Siembra | | * | |
| | Año | | * | |
| | Cultivar x Época de siembra x año | | * | |

*Ref: ns*: indica diferencia no significativas; * diferencias significativas p≤0,05 letras distintas indican diferencias significativas.

Se puede observar que no se presentaron diferencias estadísticas solo para cultivares (GRI 6: 1,56 y GRI 10: 1,62). En las siembras de otoño el EMC fue superior (1,87) al obtenido en las siembras de primavera (1,31), independientemente del cultivar y del año de siembra y en el año 1, el EMC fue mayor (1,66) que el año 2 (1,53). En cuanto a la interacción entre las variables, se observa que en los dos cultivares en las siembras otoñales del año 1 se dieron los

mayores valores de EMC, mientras que los valores más bajos se registraron en ambos cultivares en las siembras de primavera del año 1, el resto tuvo un comportamiento intermedio.

La utilidad de definir estadios de madurez reside en la posibilidad de disponer de información sobre el desarrollo y crecimiento del cultivo, para así realizar prácticas de manejo apropiadas para el mismo. En este experimento se utilizó la metodología planteada por Kalu y Fick (1981) basada en una clasificación cuantitativa en función del desarrollo morfológico individual de los tallos, denominada estadio medio de conteo (EMC). Mediante esta categorización, e incluyendo criterios fisiológicos, se establece que el indicador más generalizado para determinar el momento de uso es el inicio de floración, el cual tiene una alta correlación con el fin de la acumulación de carbohidratos de reserva en la raíces para posteriores rebrotes (Kloster y Zaniboni, 2007). Por lo tanto, el comienzo del corte o pastoreo podría definirse como el momento en el que el cultivo alcanza el 10 % de floración o cuando los rebrotes de la corona alcanzan tres a cinco centímetros de altura, lo cual también permite compatibilizar calidad del forraje obtenido y duración de la pradera (Romero *et al.*, 1995; Rossanigo y Aragón, 2003). La alfalfa es una especie cuantitativa de día largo, que tiende a florecer más rápidamente con fotoperiodos largos; por lo tanto, durante los períodos del año con días más cortos, requiere mayores sumas térmicas para llegar al momento de corte (Odorizzi, 2015). En primavera-verano la pérdida de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa es más elevada y de mayor magnitud en términos diarios, por lo tanto, la baja densidad de plantas y la desuniformidad del cultivo tendrán efectos más detrimentales en esta época del año en términos de conversión a MS (Collino *et al.*, 2007b). Resultados obtenidos por Spada *et al*., 2007, durante dos años de evaluación analizando siete períodos de rebrote entre octubre y junio, concluyeron que durante los primeros diez días de crecimiento predominaron estadios de madurez en todos los rebrotes alcanzando un estado EMC que osciló entre 0 y 0,93. Los estadios tempranos están representados por más de un estado de madurez. Por otro lado, Sanderson *et al.* (1988), registraron valores similares en primavera, pero en verano el estadio medio fue superior a 1. En el momento coincidente con el 10 % de floración el porcentaje de estadios vegetativos se mantuvo alto siendo el EMC entre 1,05 a 2,55, dependiendo de la época del año evaluado, ya que en verano, debido a mayores temperaturas, el EMC es superior a 2,5, por el contrario, en otoño y como resultado de la inhibición de la floración por disminución del fotoperíodo se desarrollaron mayor cantidad de tallos de estadio menores a 2. Estos resultados son coincidentes a los obtenidos en este estudio, ya que en este caso se evaluaron al primer corte, el cual fue desarrollado a fines de primavera y en donde este valor en promedio fue de 1,6.

Kalu y Fick (1983) indican que a los 50 días del rebrote en invierno aumentan la cantidad de tallos con un estado de madurez de 0, debido a que la temperatura y fotoperíodo no son las óptimas para el crecimiento. En relación a los cultivares evaluados, no hubo diferencias, esto coincide con lo planteado por Hall *et al*. (2000), los cuales no encontraron diferencias en el estado de madurez entre cultivares de distinto grado de reposo a igual momento de utilización.

### 4.3.6. Producción de Biomasa y Eficiencia del Uso del Agua al primer corte después de la siembra.

En la Tabla 15, puede observarse que la producción de biomasa de alfalfa al primer corte luego de la siembra fue afectada por la época de siembra y la interacción cultivar x época de siembra x año. En las siembras de otoño la producción de MS fue un 56% superior a las obtenidas en las siembras de primavera, independientemente del cultivar y del año de siembra.

**Tabla 15.** Producción de biomasa (kgMS $ha^{-1}$) y Eficiencia del uso del agua (EUA) (KgMS.$mm^{-1}$) al primer corte de alfalfa en cultivares con diferente GRI en siembras de otoño y primavera en dos años.

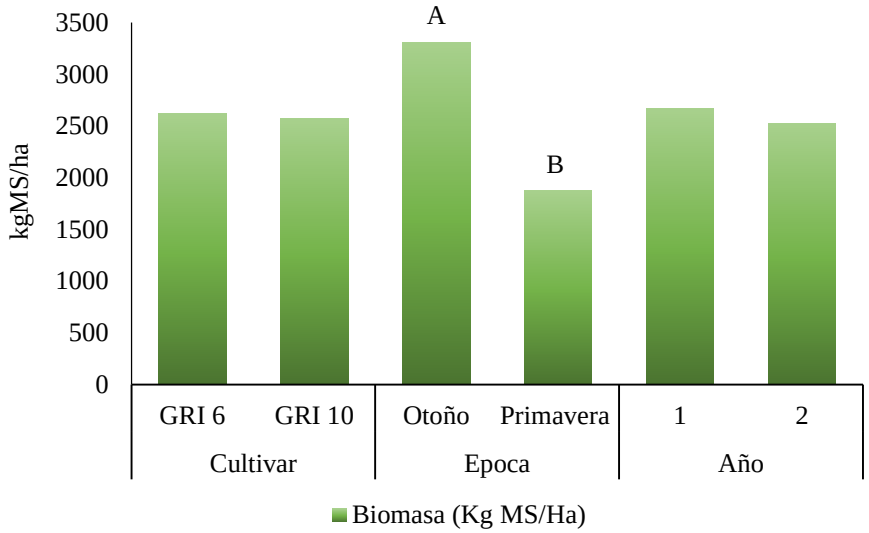
| Cultivares | Época de Siembra | Año | Biomasa (Kg MS.$Ha^{-1}$) | | EUA (KgMS.$mm^{-1}$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| GRI 6 | Primavera | 1 | 1190,0 | c | 11,13 | b |
| | | 2 | 2982,0 | b | 12,63 | a |
| | Otoño | 1 | 4041,1 | a | 12,86 | a |
| | | 2 | 2259,3 | b | 10,53 | b |
| GRI 10 | Primavera | 1 | 1026,2 | c | 9,67 | |
| | | 2 | 2297,8 | b | 9,78 | |
| | Otoño | 1 | 4396,8 | a | 13,97 | a |
| | | 2 | 2551,3 | b | 11,86 | b |
| Cultivar | GRI 6 | | 2618,1 | | 11,79 | |
| | GRI 10 | | 2568,0 | | 11,32 | |
| Época de siembra | Otoño | | 3312,1 | A | 12,31 | A |
| | Primavera | | 1874,0 | B | 10,8 | B |
| Año | 1 | | 2663,5 | | 11,91 | |
| | 2 | | 2522,6 | | 11,2 | |
| Significancia | Cultivar | | *ns* | | *ns* | |
| | Época de Siembra | | * | | * | |
| | Año | | *ns* | | *ns* | |
| | Cultivar x Época de siembra x año | | * | | * | |

*ns*: indica diferencia no significativas; * diferencias significativas $p \leq 0,05$

En cuanto a la interacción entre las variables se observa que en siembras de otoño y durante el año 1 ambos cultivares presentaron mayores valores de biomasa, los resultados que le continuaron fueron los obtenidos en ambos cultivares en las siembras de otoño y primavera

del segundo año y por último, los datos más bajos de biomasa se dieron en siembras primaverales del primer año para los dos cultivares.

La producción de biomasa (kg MS $ha^{-1}$) no mostró diferencias entre cultivares y año pero sí tuvo efecto significativo la época de siembra (Figura 24), ya que en este caso la mayor producción se obtuvo en las siembras de otoño.




*Referencia: letras mayusculas sobre las barras indican diferencias significativas (p≤ 0,05)*

**Figura 26.** Producción de biomasa (kgMS $ha^{-1}$) de dos cultivares de alfalfa (GRI 6 y GRI 10) durante dos años de evaluación (1 y 2) en dos épocas de siembra (primavera y otoño).

Estos resultados coinciden con estudios planteados por Becker (2004) el cual indica que al primer aprovechamiento, las siembras otoñales presentan mayor producción de biomasa que las siembras primaverales, debido principalmente al periodo más extenso que tienen entre la siembra y el primer corte, disminuyendo esta diferencia a medida que aumentan el número de aprovechamientos del cultivo.

No se observaron diferencias entre los cultivares en cuanto a la producción de biomasa, tal lo planteado por Rossanigo *et al.* (1995), los autores indican que si bien no existen diferencias entre cultivares en cuanto a la producción de MS, si lo hay en la distribución de esa producción a lo largo del año, ya que cultivares de grado 8 y 9 producen preferentemente forraje en invierno y otoño, mientras que los cultivares de grado 4, 5 y 6, concentran la producción de forraje en la primavera y resultan ser apropiados para esquemas de corte o de producción de forrajes conservados.

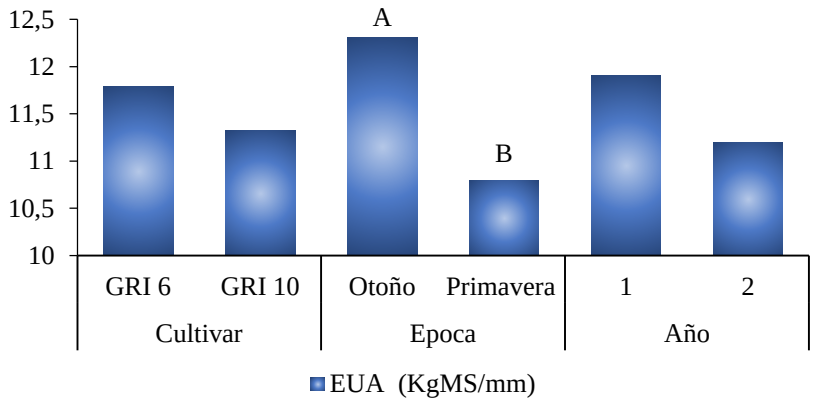
Los resultados obtenidos permiten decir que las siembras de primavera si bien no siempre son seguras permiten adelantar la puesta en producción de una pastura, que de no ser

así se debería esperar hasta el otoño del año siguiente para implantarla, lo que obligaría a buscar otras alternativas forrajeras para cubrir el déficit que se produce por la falta de este recurso forrajero, o bien porque puede que el lote no haya sido desocupado con tiempo, en cuyo caso, podría optarse por las siembras de primavera. Es decir que, tomando los recaudos necesarios, la siembra de alfalfa en primavera es factible de realizar, si bien la producción al primer corte es baja en comparación con las siembras de otoño, esto luego tiende a igualarse y la ventaja se debe al corto periodo de tiempo en el cual se puede obtener dicha producción, lo cual permitiría la implementación de este cultivo en sistemas de producción agrícolas, complementándose correctamente con esos recursos y evitando demasiado tiempo entre un cultivo y otro.

En la EEA Rafaela, (Romero, 2016) demostró que es factible lograr buenas implantaciones de alfalfa en la primavera, tal como lo obtenido en un ensayo realizado en dicha experimental, donde se sembró alfalfa cultivar Monarca INTA mediante una siembra directa el 28 de agosto 2015, a una densidad de 10 kg $ha^{-1}$, observando que la germinación fue más lenta debido posiblemente a la baja temperatura del suelo aunque no afectó el número de plantas, lográndose 180 plantas. $m^{-2}$ al establecimiento (60 dds).

En cuanto a la eficiencia del uso del agua los efectos fueron similares a los obtenidos en biomasa (Tabla15) ya que no hubo diferencias estadísticas entre cultivares y años, pero si se vio afectada significativamente por la época de siembra y las interacciones. Los mayores valores se dieron en siembras de otoño. En cuanto al efecto de las interacciones, los mayores valores de EUA se dieron en el GRI 6 en siembra de primavera del año 2 y en siembra de otoño del año 1, en GRI 10 en las siembras de otoño de ambos años de evaluación, en el reto de las situaciones fueron inferiores sus valores (Figura 25).

Los resultados demuestran que existe una relación entre la biomasa producida y la EUA al primer corte de alfalfa, ya que la EUA es proporcional a la biomasa producida, siendo mayor en las siembras de otoño en ambos cultivares y para los dos años de evaluación y menor en las siembras de primavera del año 1 para los dos cultivares. Esto está directamente relacionado a las menores producciones que se dan en siembras de primavera al primer corte.




*Referencia: letras mayusculas sobre las barras indican diferencias significativas (p≤ 0,05)*

**Figura 25.** Eficiencia del uso del agua (EUA) al primer corte de alfalfa en cultivares con diferente GRI en siembras de otoño y primavera en dos años.

Diversos estudios, indican que cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo invernal presentan el mismo patrón de distribución estacional de consumo de agua sin diferencias significativas entre ellas, pero la producción de MS es diferente en invierno y primavera; por lo que vale decir que el grado de reposo no modifica la transpiración. Por lo tanto, se concluye que la diferente producción de forraje en algunas estaciones del año es consecuencia de un diferente grado de almacenamiento y removilización de asimilados. Cualquier cultivo debe transpirar para mantener los estomas abiertos y permitir el proceso de fotosíntesis, el cual depende de la radiación, y está directamente relacionado con la producción de forraje. La MS y la transpiración presentan una relación lineal cuya pendiente representa la eficiencia en el uso del agua (EUA), la cual expresa la cantidad de MS que se produce por unidad de agua transpirada (Collino *et al.*, 2007b).

La EUA puede ser modificada por una serie de factores tales como: la proporción de agua evaporada respecto de la transpirada, el déficit de presión de vapor, las condiciones de temperatura a lo largo del año, el grado de reposo invernal de la variedad utilizada y el nivel de estrés hídrico. Guitjens (1990), a partir de una revisión general y considerando cortes individuales, menciona una amplia variación de EUA para el cultivo de alfalfa, con un rango de valores de 6 a 30 kg MS $mm^1$.

En Córdoba, López *et al*,. 1997, encontraron que la EUA para las variedades Victoria SP INTA (GRI 6) y Monarca SP INTA (GRI 8) varió entre 12,9 y 25,4 kg MS $mm^1$, mientras que Collino *et al*. (2007a), encontraron para el cv Victoria SP INTA un rango de 9 a 23,9 kg MS $mm^1$. Esto no coincide con los resultados obtenidos en este ensayo ya que no hubo efecto

de los cultivares evaluados en cuanto a EUA. Esa variabilidad entre cultivares puede deberse al diferente grado de sequedad del aire a lo largo del año, que juntamente con otras variables meteorológicas, modifica la demanda transpiratoria. A un mismo valor de radiación solar, cuanto mayor sea la sequedad del aire, mayor deberá ser la transpiración del cultivo para producir la misma cantidad de MS.

Por lo tanto, las temperaturas por debajo de 21,3º C afectan la fotosíntesis y reducen la EUR, lo cual determina que la EUA también resulte limitada por las bajas temperaturas dado que éstas, al restringir la fotosíntesis, también afectarían negativamente la relación MS/agua consumida. Esto fue precisamente lo observado por Collino *et al,* (2007b), quienes demostraron que la temperatura crítica para la EUA fue de 21,9 ºC, similar a la encontrada para la EUR (21,3 ºC); en el mismo trabajo se obtuvo que la EUA es mayor en primavera que en verano debido a que, aun cuando en primavera la temperatura media está ligeramente por debajo del valor crítico, el forraje producido resulta no sólo de los fotosintatos generados a partir de la radiación interceptada sino también de aquéllos provenientes de la removilización desde la corona y la raíz.

Contrariamente, las bajas EUA en otoño e invierno son producidas por limitaciones de temperatura y por la movilización de fotoasimilados hacia los órganos de reserva. Este proceso de almacenamiento y removilización de asimilados es más notorio en la variedad Victoria SP INTA (GRI 6) que en Monarca SP INTA (GRI 8). Esto no se obtuvo en este experimento debido a que la evaluación fue al primer corte, es decir en primavera para cada una de las siembras, en donde no se puede comparar con las épocas de año, pero si se puede decir que los valores obtenidos en esa época de muestreo para las siembras de primavera son notablemente inferiores a los trabajos presentados y esto se debe principalmente a los bajos valores de producción obtenidos al primer corte producto del escaso tiempo de desarrollo del cultivo en comparación con los valores obtenidos en las siembras otoñales, los cuales se asemejan más a los experimentos presentados.

Los resultados obtenidos en el primer año de implantación de alfalfa demuestran que el número de plantas logradas, eficiencia de siembra, desarrollo y crecimiento inicial del cultivo, producción de biomasa al primer corte entre otras variables, no son favorables para las siembras de alfalfa en primavera y son coincidentes con la bibliografía. Sin embargo, evaluaciones realizadas al finalizar el cuarto año de implantación, muestran que no hubo diferencias significativas entre siembras de otoño y primavera en el número de plantas, mientras que peso de raíz, diámetro y peso de la corona fueron mayores ($p \leq 0.05$) en siembras de primavera que en las de otoño (Bonvillani *et al.,* 2017), a esto se suman algunas ventajas de las siembras de

primavera, tales como: se acorta significativamente el tiempo de siembra a primer aprovechamiento (90 días) mejorando así la eficiencia de uso de la tierra con un menor costo de oportunidad; con densidades de siembra normales, se logra un stand de plantas, eficiencia de establecimiento, crecimiento y desarrollos iniciales que garantizan cultivos de alfalfa persistentes y productivos. Por otro lado, es necesario tomar ciertos recaudos al decidir la realización de siembras de alfalfa en primavera, en función de estos resultados, se aconseja para la región central del país planificar las siembras de este cultivo a fines de invierno comienzo de primavera (segunda quincena de septiembre) aprovechando las primeras lluvias, evitando las altas temperaturas máximas y sus efectos detrimentales en el estado de plántula. También es fundamental la elección del lote, eligiendo aquellos con historia agrícola libre de malezas.

# CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

- Las etapas iniciales de establecimiento del cultivo de alfalfa son afectadas por las temperaturas extremas.
- Cuando las temperaturas son menores a la óptima, situaciones que pueden darse en siembras tardía de otoño- invierno ó de fines de invierno principios de primavera, se deberían utilizar cultivares de reposo invernal intermedio a largos por su respuesta a bajas temperaturas.
- En estado de plántula, temperaturas elevadas reducen el peso seco y el área foliar, situación que se agravaría ante condiciones de estres hídrico.
- Si bien las siembras de otoño presentaron mejores resultados en las etapas iniciales de implantación, las de primavera permitirían densidades de plantas adecuadas, al final del establecimiento, para obtener cultivos productivos, persistentes y la posibilidad de integrar la alfalfa a sistemas agrícolas obteniendo los beneficios de la misma en las rotaciones y recuperando la superficie cultivada.
- En función de la región, para decidir la fecha de siembra en primavera, es aconsejable evaluar las condiciones climáticas, precipitaciones y principalmente las temperaturas máximas absolutas que puedan ocurrir en los primeros 60 días postsiembra.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ARANJUELO, I., J. J. IRIGOYEN, P. PEREZ, R. MARTINEZ-CARRASCO y M SANCHEZ-DIAZ. 2007. Response of nodulated alfalfa to water supply, temperature and elevated CO2: productivity and water relations. In: Environmental and Experimental Botany 55:130–141.

AROLFO, V. y A. ODORIZZI. 2016. Avances en Alfalfa. Año 26, EEA INTA Manfredi, 83 pp.

BAETHGEN, W. E. 1992. Dinámica del nitrógeno en sistemas de rotación cultivos-pasturas. Revista INIA de investigación Agronómica, Uruguay. pp. 3-35.

BASIGALUP, D. H. 2007. El cultivo de la alfalfa en la Argentina. Ediciones INTA. pág.477.

BASIGALUP, D., R. ROSSANIGO y M. V. BALLARIO. 2007. Panorama actual de la alfalfa en la Argentina. En: El cultivo de Alfalfa en la Argentina. EEA Manfredi-INTA. Capítulo 1. Pag 15-24.

BASIGALUP, D. H. 2014. Situación de la alfalfa en Argentina. 5º Jornada Nacional de Forrajes Conservados. INTA. pp. 95-99.

BASIGALUP, D. H. 2016. Pautas para encarar la siembra de alfalfa en primavera y reducir márgenes de riesgo. EEA INTA Manfredi. En www.produccion-animal.com.ar. Consultado marzo 2017.

BECKER, G. F. 2004. Alfalfa: ¿sembrar a fines de verano o en primavera? Área de Recursos Naturales INTA EEA Bariloche. Pag 1-4.

BOBADILLA, S. 2002. Alfalfa: para lograr una buena implantación. INTA – Carpeta Técnica E.E.A. Esquel. El Sitio Argentino de Producción Animal. pp: 1-3.

BONEL, A., C. PURICELLI, R. CABRINI y W. WEIR. 1980. Influencia de la alfalfa sobre la fertilidad nitrogenada del suelo en la pampa húmeda. En: IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, T 2. 749-760.

BONVILLANI M. J., H. PAGLIARICCI, A. OHANIAN, I. OHANIAN, N. SALUSSO, y S. GONZÁLEZ. 2017. Efecto de la época de siembra sobre el stand de plantas de "alfalfa" a los cuatro años de su implantación. 40º Congreso de Producción Animal. AAPA. Córdoba 2017.

BORG H. y GRIMES D. W. 1986. Depth development of roots with time: an empirical description. Trans. ASAE 29: 194-196.

BUSBICE, T. H. y C. P. WILSIE. 1965. Fall growth, winter hardiness, recovery after cutting and wilt resistance in $F_2$ progenies of Vernal x DuPuits alfalfa crosses. Crop Sci. 5: 429-432.2.

CANGIANO, C.A. 1991. Productividad y persistencia de alfalfa en el sudeste bonaerense. Informe plan de trabajo 007. EEA Balcarce, INTA.

CANGIANO, C.A. 1993. Productividad y persistencia de alfalfa en el sudeste bonaerense. Informe plan de trabajo 007. EEA Balcarce, INTA.

CANGIANO, C.A. 1994. Productividad y persistencia de alfalfa en el sudeste bonaerense. Informe plan de trabajo 007. EEA Balcarce, INTA.

CANGIANO, C.A., M. OLIVARES, y F. SPERANZA.1996. Efecto de curasemillas en la implantación de cultivares de alfalfa con distinto reposo invernal. Rev. Arg. Prod. Anim. 16, (Supl. 1): 218-219.

CANGIANO, C. A. 2002. Manual de alfalfa. Cap. 2: Implantación. Pág. 18-44.

CANGIANO C. A. 2007. Crecimiento y manejo de la defoliación. En: El cultivo de la alfalfa en la Argentina. Basigalup, D.H. (ed). Ediciones INTA. pp 251-266.

CANTERO G. A., BRICHI E., BECERRA V. H., CISNEROS J. M., y H. GIL 1986. Descripción y zonificación de las tierras del departamento Río Cuarto. 1:250.000. FAV, UNRC, Río Cuarto. 88 pp.

CANTERO G. A., CANTU M. P., CISNEROS J. M., CANTERO J. J., BLARASIN M., DEGIOANNI A., GONZALEZ J., BECERRA V. H., GIL H., DE PRADA J., DEGIOANNI S., CHOLAKY C., VILLEGAS M., CABRERA A. y C. ERIC 1998. Las tierras y aguas del Sur de Córdoba. Propuestas para un manejo sustentable. UNRC. 119 pp.

CENSO NACIONAL AGROPECUARIO. 2008. En: http://estadistica.cba.gov.ar/Inicio/Censos/CensoNacionalAgropecuario2008/tabid/393/language/es-AR/Default.aspx. Consultado: febrero 2017.

COLLINO, D.; J. DARDANELLI; M. DE LUCA y R. RACCA. 2005. Temperature and water availability effects on radiation and water use efficiencies in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Aust. J. Exp. Agric. 45: 383-390.

COLLINO, D., J. DARDANELLI y M. de LUCA. 2007 a. Temperature and water availability on water use strategies and dry matter production by two alfalfa cultivars differing in Winter dormancy. Phyton 61 1/2: 45-53.

COLLINO, D., J. DARDANELLI y M. de LUCA. 2007 b. Uso del agua y la radiación para producción de forraje. En: Basigalup, D. H. (ed) El cultivo de alfalfa en la Argentina. INTA Capitulo 3 pag 45-65.

CORNACCHIONE, M.V. y H.E. PÉREZ. 2004. Producción de forraje y stand de plantas de cultivares de alfalfa bajo riego con relación a densidades de siembra. ALPA 2002. 10(3):164-170

CRAUFURD, P.Q., P.V.V. PRASAD, V.G. KAKANI, T.R. WHEELER, y S.N. NIGAM. 2002. Heat tolerance in groundnut. In: Field Crops Research. Volumen 80, issue 1, 8 January 2008. pp:63-77.

D'ATTELLIS, J. 2005. Alfalfa (*Medicago sativa* L) producción de semilla en Tinogasto, Catamarca. En: http://www.produccion%20de%20Alfalfa.com. Visitado: 2016.

DI RIENZO J.A., F. CASANOVES, M.G. BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA y C. W. ROBLEDO. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

DOORENBOOS J.y A. KASSAM. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper Nº 33. Pág: 201.

ECHENIQUE V., P. POLCI y E. LUTZ. 2001. Presente y futuro de la biotecnología en especies forrajeras en Sudamérica, especialmente en Argentina. En. http://argenbio.org/index.php?action=biblioteca&opt=8 Consultado: 20/08/2016.

ESPÓSITO, G. 2007. Doce años de experimentación con ganadería en siembra directa. 4to Simposio de Ganadería en Siembra Directa. Otro ambiente. Otra agricultura. Otra ganadería. Aapresid. San Luis Mayo 2007 pp:19-27.

FAOSTAT, 2015. Anuario estadístico de la FAO. Chile. En: http://www.fao.org/3/a-i3592s.pdf. Consultado: Junio 2016.

FORMOSO, F. 2006. Conceptos sobre implantación de pasturas. Pasturas, INIA La Estanzuela. Uruguay. pp 21.

GUITJENS, J. C. 1990. Alfalfa and alfalfa improvement. In: B. A. Steward and D . R. Nielsen (Eds.) Irrigation of agricultural crops. Agronomy Monograph Nº 30. ASA-CSSA-SSSA. Madison. USA. pp 537-568.

HALL, M., W. S SMILES and R. A DICKERSON. 2000. Morphological development of alfalfa cultivars selected for higher quality. Agron J. 92: 1077-1080.

HEICHEL, G. H., R. H. DELANEY and H. T. CRALLE. 1988. Carbon assimiliation, partitioning and utilization. In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill (eds.) Alfalfa and alfalfa improvement, Chapter 6. Agronomy Monograph Nº 29. ASA- CSSA-SSSA. Madison, USA. pp.195-228.

HIJANO E. H. y D. H. BASIGALUP. 1995. El cultivo de la alfalfa en la Argentina. En: La alfalfa en la Argentina. Hijano, E. H y A. Navarro (ed) INTA. pp. 12-18.

HIJANO E. y A. NAVARRO A. 2008. La Alfalfa en la Argentina. San Juan, Argentina, INTA, 287p.

INASE Instituto Nacional de semillas en www.inase.gov.ar.

ISTA International Seed Testing Association, actualización 2010.

JAHN E. B., A. V. VIDAL, F. BAEZ y P.O. SOTO. 1993. Use of irrigated lucerne at different growth stages. II. Utilisation for milk production. Proceeding of the XVII International Grassland Congress. Palmerston North, New Zealand. 8-21 February 1993. p. 1506-1507.

JARSÚN, B., J. A. GORGAS, E. ZAMORA, E. ESMERBOSNERO, A. RAVELO y J. L. TASSILE. 2003. Recursos Naturales de la provincia de Córdoba: Los suelos. Agencia Córdoba D.A.C. y T.S.E.M. Dirección de Ambiente, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Manfredi, Córdoba. En: http://www.geointa.inta.gob.ar/2015/01/29/suelos-de-cordoba-1500-000/ Consultado: 2014.

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

KALU, B.A. and G.W. FICK. 1983. Morphological stage of development as a predictor of alfalfa herbage quality. Crop Science 23: 1167-1172.

KLOSTER A. y C. ZANIBONI. 2007. Manejo y utilización de pasturas de alfalfa en producción de carne. En: El cultivo de la alfalfa en la Argentina. Basigalup, D. H. (Ed.) INTA. pp. 39-40.

KUGLER, J. L. 2006. Future trends in Alfalfa establishment. In: Proceedings, 2006 Western Alfalfa y Forage Conference, December 11-13, 2006, Reno, Nevada. Pág: 7.

LÓPEZ A., J. DARDANELLI, D. COLLINO, R. SERENO y R. RACCA. 1997. Necesidad de riego suplementario en alfalfa para corte. PRONALFA-INTA. 4 pp.

MARBLE, V. 1988. Relative advantages of different dormancies of alfalfa grown in Central and Northern California. Proceedings 18th California Alfalfa and Forage Symposium En: http://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/1986/86-06.Pdf.

MCKENZIE, J.C., R. PAQUIN and S. H. DUKE. 1988. Cold and heat tolerance. In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill, Jr. (ed.) Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA/CSSA/SSSA, Agronomy Monograph 29. Madison, Wisconsin, USA pp. 259-302.

MULLER, S. C., C. A. FRATE y M. C. MATHEWS. 2007. Alfalfa stand establishment. University of California. Division of Agriculture and Naturale Resources. Chapter 4, Pág 1-21.

MULLER, S. C. y L. TEUBER 2007. Alfalfa growth and development. University of California. Division of Agriculture and Naturale Resources. Chapter 3, Pág 1-9.

ODORIZZI, A. S. 2015. Parámetros genéticos, rendimiento y calidad forrajera en alfalfas (*Medicago sativa* L.) extremadamente sin reposo con expresión variable del carácter multifoliolado obtenidas por selección fenotípica recurrente. Tesis Doctoral en Ciencias Agropecuarias. Córdoba. pp: 1-167.

PAGLIARICCI, H., A. OHANIAN, T. PEREYRA y S GONZÁLEZ. 2002. Utilización de pasturas. Cursos Introducción a la Producción Animal y Producción Animal I, Cap. 12. FAV UNRC.

PEARSON C. J. y L. A. HUNT. 1972. Effects of temperature on primary growth and regrowths of alfalfa. Department of Crop Science, University of Guelph, Ontario. pp:1017-1027.

PICCA, C. y R. DEVOTO. 2004. Participación del germoplasma INTA en el mercado de semilla de alfalfa. INTA. Gerencia de Vinculación Tecnológica. Documento de Trabajo, 10 p.

POOLE, G., D. PUTNAM y S. ORLOFF. 2003. Considerations in choosing an alfalfa variety. Proceedings 33rd California Alfalfa and Forage Symposium, pp. 191-200.

PORDOMINGO, A. J. 1995. Consideraciones económicas sobre alfalfa. En: La Alfalfa en la Argentina. EEA Cuyo-INTA. Capitulo 12. Pág 241-256.

ROBERTO Z. E. y E. F. VIGLIZZO.1993. Análisis del impacto de los recursos forrajeros en agrosistemas de la pampa semiárida. Revista Argentina de Producción Animal 10 47-54.

RODRÍGUEZ, N. E y M del C. SPADA. 2007. Morfología de la alfalfa. En: Basigalup, D. H. (ed) El cultivo de alfalfa en la Argentina. INTA Capítulo 2, pág 29-43.

ROMERO, N. A., N. A. JUAN y L. A. ROMERO. 1995. Establecimiento de la alfalfa en la Región Pampeana. En: H. Hijano y A. Navarro (ed). La alfalfa en la Argentina. INTA, Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo Manuales 11, Capítulo 2, pp. 21-36.

ROMERO, L. J. MATTERA y A. CUATRIN. 2008. Efecto del tipo de siembra sobre la producción y el número de plantas en pasturas de alfalfa en el año de implantación. Revista Argentina de Producción Animal 28 (Supl. 1) 349-543.

ROMERO, L. 2011. La densidad de siembra y la productividad de la alfalfa. EEA Anguil. http://www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=18382. Visitado diciembre 2017.

ROMERO, L. 2016 ¿Conviene sembrar alfalfa en primavera? INTA Rafaela. En: http://forratec.com.ar/newsletter/_2016/fls-2016-04-23.html. Visitado abril 2017.

ROSSANIGO, R. 1997. Alfalfa: Panorama varietal, control de malezas, utilización y manejo. Invernada Bovina en zonas mixtas. Agro 2 Córdoba. Capítulo I: 6-36. INTA EEA Marcos Juarez.

ROSSANIGO, R. 0. y F. D. MENEGHETTI. 1991. Alfalfa. INTA-E.E.A. Marcos Juárez (Argentina). pp. 3-11.

ROSSANIGO R., M del C. SPADA y O. A. BRUNO. 1995. Cultivares de alfalfa, grados de reposo y panorama varietal INTA, subprograma Alfalfa, La alfalfa en la Argentina, Editar, San Juan, 65-75.

ROSSANIGO, R. O. y ARAGÓN J. R. 2003. Alfalfa. En: N. J. Latimori y A. M. Kloster (ed) Invernada bovina en zonas mixtas. INTA Marcos Juárez. Agro de Córdoba 12. Editorial Editar S.A., San Juan, Arg. Cap. I, pp. 6-53.

ROTONDARO, R. 2014. Manejo y Nutrición de la alfalfa (1era parte). (ACA Nutrición de Cultivos). Requerimientos de suelo y clima. En: http://portal.acabase.com.ar/suelofertil/Artculos%20de%20Inters/VARIOS/Alfalfa%20-%20Manejo%20y%20nutrici%C3%B3n%201era%20parte.pdf. Consultado: 08/02/2017.

SANDERSON M. A., J. S. HORNSTEINAND and W. F. WEDIN. 1988. Alfalfa morphological stage and its relation to in situ digestibility of detergent fiber fractions of stems. Crop Science 29: 1315-1319.

SARDIÑA, C., M. DIEZ y C. OTTAVIANO. 2015. Densidad de siembra y arreglo espacial de plantas en un cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) INTA. EEA General Villegas. En: http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mt2015_sardinia_densidad_siembra.pdf. Consultado: febrero 2017.

SEILER, R. A.; F. KOGAN y J. SULLIVAN 1995. AVHRR-Based vegetation and temperature condition indices for drought detection in Argentina. Advances in Space Research. 21. (3) 481-484.

SEVILLA, G, ; A. PASINATO y J. GARCÍA. 2002. Producción de forraje y densidad de plantas de alfalfa irrigada comparando distintas densidades de siembra Arch. Latinoam. Prod. Anim. 10(3):164-170.

SPADA, M. del C. 2003. ¿Cómo se acumula la producción de forraje de alfalfa?. Jornada Técnica Todo Alfalfa. EEA Manfredi – INTA (Área Producción Animal), 18 p.

SPADA, M del C. 2007. Evaluación de cultivares y panorama varietal. En: Basigalup, D. H. (ed) El cultivo de alfalfa en la Argentina. INTA Capitulo 7, pág 131-151.

SPADA, M. del C., C. GUZMÁN y M. TABLADA. 2007. Desarrollo fenológico de cultivares de alfalfa creciendo bajo niveles contrastantes de humedad del suelo en Córdoba, Argentina. En El sitio Argentino de Producción Animal. APPA - ALPA - Cusco, Perú, 2007. En: http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_alfalfa/84-SPADA_FENOLOGIA.pdf Consultado: 2011.

TA T. C., F. D. MACDOWALL y M. A. FARIS. 1990. Utilization of carbon and nitrogenous reserves of alfalfa roots in supporting N2 fixation and shoot regrowth. Plant y soil 127:231-236.

TEUBER, L. R., K. T. TAGGARD, L. K. GIBBS y S. ORLOFF. 1995. Characterization of a Certified Alfalfa Cultivar: Importance and Evaluation of Fall Dormancy. Proceedings 25th California Alfalfa and Forage Symposium. En: http://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/1995/95-41.pdf. Consultado 2013.

TEUBER L. y S. C. MULLER. 2007. Alfalfa growth and development. University of California. Division of Agriculture and Naturale Resources. Chapter 3, Pág 1-9.

UBERTO M. 2008. Adaptación de un modelo de simulación para el cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.) en las condiciones edafoclimáticas de Río Cuarto. Tesis Maestría en Ciencias Agropecuarias. FAV. UNRC. 31 pp.

URZÚA H. 2005. Beneficios de la Fijación Simbiótica de Nitrógeno en Chile. Departamento de Ciencias Vegetales. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. pp: 133-150

VIGLIZZO, E. y Z. E. ROBERTO. 1991. Evolución y tendencia del agroecosistema en la pampa semiárida. En: Juicio a nuestra agricultura. INTA. Buenos Aires. p. 85-99.

VIGLIZZO, E. 1995. El Rol de la Alfalfa en los Sistemas de Producción. En: La Alfalfa en la Argentina. Ediciones INTA. p. 259 – 272.

VORANO, A.E., J. SCHIMPF y J.R. TESTA. 1975. Efecto de la época de siembra y cultivos acompañantes en la implantación de dos variedades de alfalfa. EERA Balcarce, Reunión Anual Departamento de Producción Animal.

YIWEI, M.; G. LIANG; W. SHIL y J. XIEL. 2011. Metabolic responses of alfalfa (*Medicago sativa* L.) leaves to low and high temperature induced stresses African Journal of Biotechnology. 10(7), 1117-1124.

ZUBIZARRETA J. 1992. Producción lechera en EE. UU. Revista CREA 156:80-84.

ZÚÑIGA ALARCON, B., M. del R. VENEGAS ORDOÑES, y T. MARTINEZ CERVANTES. 2012. Manual para la producción de semillas de alfalfa en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Zootecnia. Fundación Hidalgo Produce A. C. México. pp:1-68.