

# El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina

Editor: *Ing. Agr. (PhD) Daniel H. Basigalup EEA Manfredi - INTA*



## ■ Ediciones

Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria



633.311 El cultivo de la alfalfa en la Argentina / editor Daniel H.  
C96 Basigalup Buenos Aires : Ediciones INTA, 2007.  
479 p. : fotos col., cuadros, gráficos

ISBN: 978-987-521-242-8

ALFALFA CULTIVO VARIEDADES MANEJO DEL CULTIVO  
FITOMEJORAMIENTO SIEMBRA DIRECTA CONTROL DE PLAGAS CONTROL  
DE ENFERMEDADES APLICACIÓN DE ABONOS ALIMENTACION DE LOS  
ANIMALES

INTA - DDIB

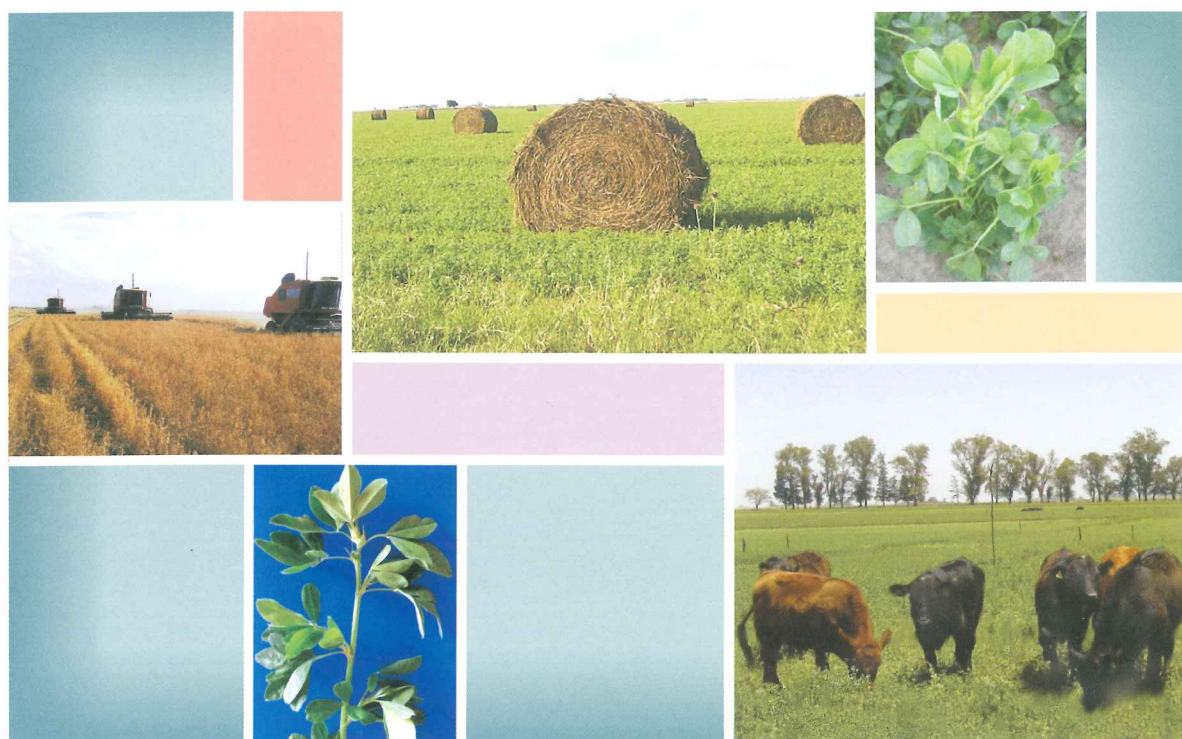
No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su almacenamiento en un sistema informático, ni su transmisión en cualquier formato o por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia u otros métodos, sin el permiso previo del editor.



EDICIONES INTA  
GESIC - Gerencia de Comunicación  
DG Liliana Ponti  
Chile 460 2° piso C.P. 1098 Bs. As.  
Copyright INTA, Junio 2007  
Tirada: 2000 ejemplares

# El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina

Editor: *Ing. Agr. (PhD) Daniel H. Basigalup EEA Manfredi - INTA*







# El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina

**Editor:** *Ing. Agr. (PhD) Daniel H. Basigalup*  
EEA Manfredi INTA

## **Agradecimientos**

Un particular agradecimiento a la Dirección Nacional del INTA, a la Fundación ArgenINTA y a las empresas Produce S.A. y AproAgro S.A. (Grupo SanCor), que a través de sus aportes financieros hicieron posible la publicación de este libro.

Se agradece también la cálida atención y el trabajo eficiente de la Gerencia de Comunicaciones del INTA, en especial a José L. Vecchi, José A. Della Puppa y Liliana Ponti.

Un reconocimiento muy especial a los Ing. Agrónomos María del C. Spada y Ariel Odorizzi (INTA Manfredi) por su inestimable colaboración en el ordenamiento de los originales y en la revisión final de los impresos.

Finalmente, se agradece el esfuerzo de los autores de los capítulos que aportaron sus conocimientos y su tiempo, y sin cuya cooperación este libro no hubiera sido posible.

## Prólogo

La Argentina, con aproximadamente 5.5 millones de hectáreas cultivadas en la actualidad, es el segundo productor de alfalfa en el mundo. En ese sentido, es bien conocida la importancia que tiene el cultivo no sólo para la producción ganadera sino también para la estabilidad de los sistemas agropecuarios.

En nuestro país, la alfalfa se cultivó por primera vez en la Región Cuyana durante el siglo XVII y alcanzó la provincia de Buenos Aires recién a mediados del siglo XVIII. Desde fines del siglo XIX y hasta mediados del siglo XX el cultivo se difundió por toda la Región Pampeana sin mayores problemas y de manera prácticamente exponencial, alcanzando en 1926 los 8,5 millones de hectáreas. Sin embargo, hacia fines de los '60 y principios de los '70, la aparición explosiva de algunas plagas y enfermedades hicieron descender notoriamente el área de siembra. En ese momento, el INTA –primero a través del entonces recientemente creado Programa Alfalfa y posteriormente con la asistencia técnica y financiera de la FAO- inició un ambicioso programa de investigación en diversos aspectos del cultivo. Como resultado de esa primera etapa se publicó en 1986 el libro «Investigación, Tecnología y Producción de Alfalfa», que resumía los logros obtenidos tras varios años de trabajo constante y organizado.

Durante la década de 1990, la disponibilidad de nuevos y mejores cultivares, la mejora en las técnicas de manejo del cultivo y el mayor conocimiento sobre la forma de superar los principales problemas sanitarios, devolvieron a la alfalfa su lugar de privilegio entre las especies forrajeras utilizadas en el país. Los avances que en materia de investigación y experimentación realizó el INTA durante ese período se sintetizaron con la publicación en 1995 del libro «La Alfalfa en la Argentina».

En los años subsiguientes, si bien con los altibajos propios de las situaciones coyunturales por las que atravesó el país, la actividad de los profesionales de la Institución dedicados total o parcialmente al cultivo continuó a ritmo sostenido y desde una perspectiva que incluyó las nuevas tecnologías que se desarrollaron tanto a nivel nacional como internacional. El presente libro «El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina» reúne la información generada en su vasta mayoría por investigadores del INTA durante la última década. La obra no sólo actualiza algunos conceptos básicos tratados en los dos libros anteriores sino que incluye avances recientes en muchos otros tópicos no desarrollados previamente. Entre éstos últimos, merecen destacarse los capítulos que tratan sobre la morfología, la ecofisiología, la fijación biológica del Nitrógeno, la biotecnología aplicada al desarrollo de variedades, el mejoramiento genético para limitantes abióticas, la selección asistida por marcadores moleculares para la resistencia a enfermedades, la siembra directa, la fertilización y el encalado, el control del meteorismo y la producción de henolaje y silaje de alfalfa. En ese contexto, los diferentes aspectos del cultivo son abordados desde una visión científico-tecnológica en la que se ensambla información de carácter básico con consideraciones prácticas y de aplicación directa para el productor ganadero en muchos casos.

La presente obra, que demandó tres años de labor, constituye el más completo y actualizado tratado sobre la alfalfa en el mundo de habla hispana. Está destinada tanto a profesionales, docentes y estudiantes como a productores y demás personas vinculadas al quehacer agropecuario. En nombre del INTA, de los autores de los capítulos y del mío propio, anticipo que este libro será una herramienta eficaz para un mejor entendimiento y manejo de esta trascendental especie forrajera.

**Editor:** Ing. Agr. (PhD) Daniel H. Basigalup  
EEA Manfredi INTA

# Índice

Prólogo .....	5
---------------	---

## **Capítulo 1: Panorama actual de la alfalfa en la argentina**

*Daniel Basigalup y Roberto Rossanigo*

Introducción.....	15
Evolución de la superficie de siembra .....	16
Evolución del mercado de semilla de alfalfa .....	17
Criterios para la elección del cultivar .....	18
Perspectivas para el futuro .....	22
Bibliografía .....	24

## **Capítulo 2: Morfología de la alfalfa**

*Nora Rodríguez y María del Carmen Spada*

Introducción .....	29
Organografía de la alfalfa .....	29
Estadios de madurez de la alfalfa .....	39
Bibliografía .....	43

## **Capítulo 3: Uso del agua y la radiación para producción de forraje**

*Daniel Collino, Julio Dardanelli y Marcos De Luca*

Introducción .....	47
Rendimiento potencial de forraje .....	48
Producción de forraje en secano .....	55
Consideraciones finales .....	62
Bibliografía .....	63

## **Capítulo 4: Nutrición nitrogenada de la alfalfa e impacto de la fijación simbiótica del nitrógeno**

*Roberto Racca y Norma González*

Introducción .....	69
Producción de forraje y acumulación de Nitrógeno .....	70
Aporte de Nitrógeno por fijación biológica .....	71
Rizobios en el suelo y el sistema nodular .....	73
Consideraciones finales .....	77
Bibliografía .....	78

## **Capítulo 5: Mejoramiento genético y desarrollo de variedades**

*Daniel Basigalup*

Introducción .....	83
Modelos genéticos autetraploides .....	83
Mejoramiento genético .....	86
Mejoramiento por caracteres específicos .....	95



Consideraciones finales.....	102
Bibliografía .....	103

## **Capítulo 6: Biotecnología aplicada al mejoramiento genético de alfalfa**

*Raúl Ríos, Fernando Ardila, Elba Pagano, María Cristina Gómez y Pascual Franzone*

Mejoramiento genético y biotecnología de plantas .....	111
Marcadores moleculares .....	111
Transformación genética .....	113
Biotecnología de alfalfa en Argentina .....	118
Consideraciones finales .....	126
Bibliografía .....	126

## **Capítulo 7: Evaluación de cultivares y panorama varietal**

*María del Carmen Spada*

Introducción .....	133
Grados de reposo invernal .....	134
Producción de forraje .....	136
Distribución estacional de la producción de forraje .....	140
Persistencia .....	142
Resistencia a plagas y enfermedades .....	145
Consideraciones finales .....	149
Bibliografía .....	149

## **Capítulo 8: La siembra directa de alfalfa en los sistemas ganaderos**

*Oswaldo Signorile*

Introducción .....	155
Siembra directa en planteos ganaderos .....	156
Siembra directa de alfalfa .....	159
Consideraciones finales .....	163
Bibliografía .....	163

## **Capítulo 9: Manejo integrado de plagas de la alfalfa**

*Jorge Aragón y José M. Imwinkelried*

Introducción .....	167
Orugas defoliadoras .....	168
Orugas cortadoras .....	172
Pulgones de la alfalfa .....	176
Gorgojos de la alfalfa .....	185
Plagas durante la implantación en siembra directa .....	187
Consideraciones finales .....	193
Bibliografía .....	194



## Capítulo 10: Malezas de la alfalfa

*Nicasio Rodríguez, Héctor Rainero, Nora Rodríguez, Mario Vigna,  
Ricardo López, Carolina Istilart y Jorgelina Montoya*

Introducción .....	201
Interacción entre pasturas y malezas .....	202
Umbral de daño económico (UDE) .....	204
Estrategias de intervención .....	205
Alternativas de control químico postemergente .....	207
Malezas especiales .....	212
Alfalfa resistente a glifosato .....	218
Factores de éxito en el uso de herbicidas .....	219
Residuos de herbicidas usados en cultivos anteriores .....	220
Bibliografía .....	221

## Capítulo 11: Fertilización y encalado en alfalfa

*Martín Díaz Zorita y Sebastián Gambaudo*

Introducción .....	229
Nitrógeno .....	229
Fósforo .....	230
Azufre .....	232
Otros nutrientes .....	233
Acidez y encalado .....	235
Consideraciones finales .....	243
Bibliografía .....	244

## Capítulo 12: Crecimiento y manejo de la defoliación

*Carlos Cangiano*

Introducción .....	249
Relación entre tasa de acumulación y fitomasa acumulada .....	250
Relación entre acumulación de forraje y ambiente .....	251
Acumulación de reservas .....	253
Relación entre morfología, desarrollo y rebrote .....	257
Descanso otoñal .....	262
Alfalfa asociada con gramíneas templadas .....	264
Estructura de la pastura y comportamiento ingestivo .....	266
Consideraciones finales .....	271
Bibliografía .....	271

## Capítulo 13: Manejo y utilización de pasturas de alfalfa en producción de carne

*Andrés Kloster y Marcos Zaniboni*

Introducción .....	279
La alfalfa como eje de las cadenas forrajeras .....	279
Utilización de la alfalfa en condiciones de pastoreo .....	279
Producción y utilización de alfalfa asociada con gramíneas .....	291
Integración del manejo de la alfalfa al sistema de producción .....	293

Consideraciones finales .....	297
Bibliografía .....	297

## **Capítulo 14: Utilización de la alfalfa por vacas lecheras en pastoreo**

*Eduardo Comerón y Luis Romero*

Introducción .....	305
Factores que afectan el consumo y la respuesta animal en condiciones de pastoreo .....	305
Ventajas y limitantes del sistema pastoril base alfalfa en vacas lecheras .....	324
Consideraciones finales .....	327
Bibliografía .....	328

## **Capítulo 15: Suplementación en pasturas de alfalfa para la producción de carne**

*Marcelo De León y Enrique Ustarroz*

Introducción .....	335
Objetivos de la suplementación .....	335
Potenciales relaciones pasturas-suplementación .....	335
Características nutricionales de pasturas y granos .....	336
Caracterización del forraje base .....	344
Resultados de la suplementación .....	347
Consideraciones finales .....	352
Bibliografía .....	352

## **Capítulo 16: Producción de heno, silaje y henolaje de alfalfa**

*Néstor Juan y Enrique Viviani Rossi*

Introducción .....	357
Estimación de la calidad del forraje de alfalfa conservado .....	359
Conservación en seco: fardos, rollos y cubos .....	363
Conservación en húmedo: silaje y henolaje .....	373
Consideraciones finales .....	384
Bibliografía .....	384

## **Capítulo 17: Meteorismo espumoso (empaste) en pastoreo**

*Patricio Davies, Alicia Dillon y Daniel Méndez*

Introducción .....	391
Mecanismos del empaste .....	391
Factores de riesgo .....	391
Integración de una estrategia de prevención y control .....	394
Uso de técnicas e insumos en la prevención del empaste .....	397
Tratamiento de los animales empastados .....	402
Consideraciones finales .....	402
Bibliografía .....	403

## Capítulo 18: Producción de semilla de alfalfa

*Carlos Moschetti, Enrique Martínez, Eduardo Echeverría y Leandro M. Ávalos*

Introducción .....	407
La producción de semilla como industria especializada .....	407
Áreas de producción en la Argentina .....	408
Requerimientos climáticos .....	409
Requerimientos de suelo .....	410
Establecimiento del cultivo .....	411
Riego del cultivo .....	415
Control de malezas .....	418
Control de insectos .....	423
Polinización .....	427
Cosecha .....	435
Producción de semilla fiscalizada .....	439
Consideraciones finales .....	441
Bibliografía .....	442

## Capítulo 19: Enfermedades de la alfalfa y abordaje molecular de la selección por resistencia

*Jorge O. Gioco, María V. Moreno, Daniel H. Basigalup*

Introducción .....	451
Principales enfermedades de la alfalfa en Argentina .....	451
Enfermedades de menor importancia en Argentina .....	462
Abordaje molecular de la selección por resistencia a enfermedades .....	464
Consideraciones finales .....	474
Bibliografía .....	475

## Panorama actual de la alfalfa en la Argentina

*Ing. Agr. (PhD) Daniel H. Basigalup*  
EEA Manfredi-INTA

*Ing. Agr. Roberto Rossanigo*  
Forage Genetics Argentina SRL

Colaboradora especial:  
*Ing. Agr. María V. Ballario*  
Forage Genetics Argentina SRL





## Introducción

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es la principal especie forrajera del país y la base de la producción de carne y leche en la Región Pampeana. La difusión del cultivo se apoya en sus altos rendimientos de materia seca (MS)  $\text{ha}^{-1}$ , su excelente calidad forrajera y su gran adaptabilidad a diversas condiciones ambientales (suelo, clima y manejo). 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.

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 P y, en menor proporción, S). A medida que las condiciones reales se alejen de este marco ideal, el cultivo disminuye su rendimiento y su persistencia. En muchos casos, las deficiencias nutricionales se pueden cubrir con fertilizaciones y la acidez de los suelos con enmiendas cálcicas. En los casos de salinidad moderada pueden sembrarse cultivares con cierto grado de tolerancia y/o implementarse una sistematización del terreno que incluya la construcción de drenajes para el lavado de los suelos. Sin embargo, en las situaciones de salinidad excesiva o presencia de alcalinidad por alto contenido de Na, es muy probable que la alfalfa no prospere y que su siembra se torne antieconómica; en esos casos, de ser posible, es aconsejable implantación de otras alternativas forrajeras.

Superada la implantación -etapa en la cual la disponibilidad de humedad es fundamental- la alfalfa está morfológica y fisiológicamente adaptada para tolerar períodos de deficiencia hídrica de cierta duración. De no existir impedimentos en el perfil (piso de arado, capa de tosca, horizontes muy densificados, etc.), sus raíces pueden extraer humedad desde los 2 m de profundidad a los dos años y desde los 4 m a los tres años de vida (9). No obstante, para mantener altas producciones de forraje, la especie requiere de una apreciable cantidad de humedad. Algunos autores (14, 6) han estimado que para producir 1 tn MS  $\text{ha}^{-1}$  en zonas semiáridas se necesitan 83 mm de agua. Heichel (7), analizando información de diversas condiciones climáticas, concluyó en que como promedio general se requieren entre 56 y 73 mm de agua para obtener 1 tn MS  $\text{ha}^{-1}$ . En la Argentina, trabajando en la zona central de Córdoba bajo condiciones de regadío, López y col. (10) indicaron que se requirió un promedio de 1.550 mm de agua para producir 28 tn MS  $\text{ha}^{-1}$ . Por su parte, Spada (15) cita que en INTA Catamarca los mejores cultivares del ensayo ALFASR 2002, luego de recibir 1.500 mm durante el ciclo de crecimiento, tuvieron rendimientos de más de 40 tn MS  $\text{ha}^{-1}$  durante la tercera temporada de evaluación.

Los datos del párrafo anterior ratifican las altas demandas hídricas del cultivo, más aún cuando se trata de nuevas variedades con cada vez mayores potenciales de producción. Sin embargo, también es importante tener presente que el cálculo directo de la productividad esperable en función de la humedad disponible puede llevar a la comisión de errores significativos, dado que los cambios diarios y estacionales en el uso del agua y el crecimiento de las plantas varían grandemente con las condiciones climáticas y las prácticas culturales. Por ejemplo, trabajando en un suelo de mediana fertilidad en el norte de la provincia de Buenos Aires, Romero y col. (13) midieron producciones de 9 kg y 14 kg MS  $\text{ha}^{-1}$  por cada mm de lluvia en los tratamientos testigo (sin fertilizar) y fertilizado con P y S, respectivamente.

Así como la alfalfa es tolerante a la sequía, es muy sensible al anegamiento del suelo. El encharcamiento de los lotes produce la falta de oxigenación de las raíces, lo que puede llevar a la muerte rápida de las plantas. Además, las condiciones de alta humedad favorecen el desarrollo de agentes patógenos (*Phytophthora megasperma*, *Pythium spp.*, *Rhizoctonia spp.*, etc.) que también pueden eliminar gran cantidad de plantas. La magnitud de los daños por anegamiento es variable según el estado fisiológico del cultivo y la temperatura ambiente; en este sentido, la tolerancia es mayor en plantas adultas y con tiempo fresco (12).

## Evolución de la superficie de siembra

En los años 1996-97 la superficie implantada con alfalfa en la Argentina, sea pura o consociada con otras forrajeras, era de poco más de 7 millones de ha. A partir de 1998/99 comienza a registrarse un descenso del área de siembra, para ubicarse en 2000/01 en las cercanías de los 5 millones de ha (8). Indudablemente, esa disminución de la demanda está relacionada con la baja rentabilidad de la actividad ganadera en ese período, particularmente de la producción lechera.

De la superficie alfalfada en el período 1996-2001, en valores promedio, el 31% correspondía a alfalfares puros y el 69% a consociaciones con otras forrajeras templadas. Sin embargo, al analizar la evolución de estos porcentajes, se aprecia que mientras las alfalfas puras constituían el 21,5% del área sembrada en 1996, pasaron a ser aproximadamente el 35% entre 1999 y 2001; en la actualidad, aunque se carece de estadísticas oficiales, la proporción de alfalfas puras se estima en valores cercanos al 50% del área total del cultivo. Obviamente, la participación de las alfalfas consociadas disminuyó en relación armónica con lo señalado anteriormente (11). Como promedio general para 1996-2001, el 46,2% de toda el área alfalfada se ubicaba 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.

El abandono de la convertibilidad a partir de 2002 y la consecuente devaluación del peso argentino condicionaron fuertemente el mercado de alfalfa en la campaña de siembra 2002/03. La nueva paridad cambiaria y las condiciones internacionales produjeron que mientras los precios de los granos en general y de la soja en particular se incrementaran, los precios de los productos pecuarios –la carne y especialmente la leche– se mantuvieran sin mayores cambios durante todo 2002. Esta situación provocó 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. Además, en un contexto en el que la mayor parte de la semilla de alfalfa que nutre el mercado nacional proviene del exterior, la nueva paridad cambiaria obligó a la suspensión de muchos contratos de importación de semilla. La imposibilidad de una sustitución inmediata de la importación por semilla de producción nacional, históricamente insuficiente e incierta, hizo caer la oferta global de semilla de alfalfa. No obstante, la permanencia de muchos cultivos en el mercado se sostuvo en virtud de los excedentes (*carry-over*) generados en las campañas anteriores, donde la demanda –como se señalara– se había contraído sensiblemente. De todos modos, la incertidumbre por la que atravesaba el sector agropecuario en materia de precios de insumos y productos originó que en 2002 no se superaran los 3,5 millones de ha implantadas con alfalfa, la cifra más baja de las últimas décadas.

Durante 2004, el flujo de dinero generado por las exportaciones agropecuarias ge-

neraron mejores condiciones para el país en general y para el sector rural en particular; paralelamente, se evidenció una franca recuperación de los precios de la leche y de la carne. En ese contexto, las buenas perspectivas para la producción ganadera se tradujeron en una mayor demanda de semilla de alfalfa para la siembra de nuevas pasturas. La superficie alfalfada para ese año se estimó en unos 4,7 millones de ha. Aunque con moderación, esa tendencia se mantuvo durante 2005, año en que la superficie alfalfada rondó los 5 millones de ha.

## **Evolución del mercado de semilla de alfalfa**

En el período 1996/2002 el mercado nacional de semilla de alfalfa tuvo una declinación constante, yendo desde los 11,92 millones de kg en 1996/97 a los 3,86 millones de kg en 2002 (INASE, *comunicación personal*). En todo ese período, una media de alrededor del 20% correspondió a semilla de producción nacional y el restante 80% a semilla importada. De esta última, poco más de la mitad provino de los Estados Unidos y cerca de un tercio, de Australia; el resto del volumen provino de Canadá, Italia, Chile y Francia (11). Es importante aclarar que la semilla importada incluye también a variedades de origen nacional que se multiplican en el extranjero. Por otro lado, la proporción referida de semilla nacional hace referencia sólo a la de producción fiscalizada (con rótulo), quedando excluida la semilla comercializada ilegalmente en bolsa blanca («hija de»). También es posible que la cifra de semilla fiscalizada de origen nacional incluya algunas alfalfas importadas de bajo precio que, aunque introducidas legalmente, se comercialicen inescrupulosamente en bolsas que llevan rótulos de otras variedades de mayor valor.

La oferta mundial de semilla de alfalfa, particularmente de variedades de escaso a nulo reposo invernal, viene registrando contracciones importantes desde fines de los '90. Esto se debe, básicamente, a la marcada disminución de la producción en California (EE.UU.), donde los altos costos del cultivo han provocado mermas de hasta el 70% en relación con la década pasada. Si bien esto se ha visto en parte atenuado por el incremento de producción en otras regiones (ej: Australia), en modo alguno se ha logrado compensar esa menor disponibilidad de semilla a nivel global. Paralelamente, la situación se ha visto agravada por el continuo crecimiento de la demanda mundial de cultivares sin reposo (GRI 8-10) y por el aumento de la superficie alfalfada en algunos países, como México, Sudáfrica y Arabia Saudí. Ese conjunto de factores ha determinado que, a escala mundial, la disponibilidad de semilla de alfalfa durante 2005 y 2006 fuera apenas suficiente.

En nuestro país, durante la temporada 2004/05, la importación de semilla de alfalfa totalizó 5,79 millones de kg. La producción nacional fiscalizada se ubicó en los 2,16 millones de kg. En consecuencia, el total de semilla certificada ascendió a 7,95 millones de kg. Asumiendo que el peleteado alcance el 50% de esta última cifra (3,98 millones de kg) y que ese proceso aumente el peso en aproximadamente el 50% ( $3,98 \times 1,5 = 5,96$  millones de kg), se llegaría a un total (natural + peleteada) de semilla certificada para ese período de 9,94 millones de kg. Además, si se asume que la comercialización ilegal de semilla llega a los 900.000 kg, se alcanzaría una cifra total para el mercado nacional de alfalfa de algo menos de 11 millones de kg.

La discriminación por grado de reposo invernal (GRI) de los cultivares que compusieron los 7,95 millones de kg de alfalfa natural (sin peletear) disponibles para el mercado nacional entre julio de 2004 y julio 2005, se puede resumir como sigue: GRI 4: 2%; GRI 5:

9%; GRI 6: 14%, GRI 7: 14%; GRI 8: 31%; GRI 9: 30%; y GRI 10: 1%. Durante la campaña 2005/06, los valores totales de disponibilidad de semilla se han mantenido, aunque se aprecia un aumento de los cultivares sin reposo (GRI 8-10) y una disminución de los materiales con mayor reposo (GRI 4-6). En el Cuadro 1 se ofrece una información más detallada para el período 2004/05, incluyendo una discriminación por origen del programa de mejoramiento de las variedades.

## Criterios para la elección del cultivar

La extensa distribución que la alfalfa tiene en la Argentina supone un amplio rango de adaptación a las particulares condiciones de precipitaciones, suelos, temperatura, plagas, enfermedades y modalidades de manejo de cada zona. Vale decir que el productor ganadero, a fin de aumentar su producción y maximizar su rentabilidad, debe identificar aquellos cultivares (= variedades) que mejor se adapten a las condiciones particulares de su explotación. Esto último no siempre es sencillo dada la enorme cantidad de variedades que se ofrecen en el mercado.

En los últimos 25 años se han inscripto en el Registro Nacional de Cultivares (INASE) cerca de 300 variedades, incluyendo tanto las de procedencia nacional como las de origen extranjero. Aun descontando las variedades obsoletas y las actualmente fuera del mercado por diversas razones (comerciales, técnicas, empresariales, etc.), la cantidad de esos materiales que hoy se ofrecen en el mercado ronda las 130 variedades. Es obvio que, en algunas de ellas, la cantidad de semilla es de escasa relevancia. En otros casos, llama la atención los altos volúmenes de importación de variedades muy viejas en sus países de origen y ya totalmente superadas en comportamiento agronómico, introducidas no por sus méritos genéticos sino por su bajo precio. Tal es el caso -entre otras- de Romagnola, Algonquin, Sirostal, Hunter River, Hunterfield, Siriver, etcétera.

De todos modos, la oferta de cultivares es amplia y el productor no siempre tiene claros los criterios que deberían orientar la elección del cultivar a sembrar. A continua-

**CUADRO 1** – Cantidad total de semilla de alfalfa certificada (importación + producción nacional) disponible en el mercado durante el período junio 2004-julio 2005, discriminada por grado de reposo invernal (GRI) y origen del programa de mejoramiento genético.

GRI	Origen del programa de mejoramiento genético	Toneladas	%
4	Europa	33	22
	EE.UU.	119	78
5	Nacional	233	33
	Europa	88	12
	EE.UU. Canadá	331 61	46 9
6	Nacional	196	18
	EE.UU.	689	64
	Australia	200	18
7	Nacional	252	23
	EE.UU.	97	9
	Australia	726	68
8	Nacional	513	21
	EE.UU.	810	33
	Chile	72	3
	Australia	1085	43
9	Nacional	652	28
	Europa	103	4
	EE.UU.	996	42
	Australia	606	26
10	EE.UU.	87	100

ción se resumen algunos puntos importantes a considerar:

### ***Grado de reposo invernal (GRI)***

La adaptación de la alfalfa a las bajas temperaturas y a la menor longitud del día durante los meses invernales definen una característica importante de la especie: el GRI, que combina resistencia al frío, crecimiento (rebrote) otoñal y latencia invernal. El GRI se determina por medio de pruebas estandarizadas que emplean variedades ya preestablecidas como testigos y que clasifican las variedades de acuerdo con una escala que va desde 1 (= reposo invernal extremadamente largo) a 11 (= extremadamente sin reposo invernal). En la Argentina se utilizan por lo general alfalfas de GRI 4 a 10, que a los fines prácticos se agrupan a su vez en tres «Grupos de Reposo Invernal» bien definidos: a) con reposo invernal (CRI), que incluye a las variedades de GRI 4 y 5; b) de reposo invernal moderado (CRIM), que abarca a las variedades de GRI 6 y 7, y c) sin reposo invernal (SRI), que incluye a las variedades de GRI 8-10. La pertenencia de las variedades a estos grupos de reposo determina en gran medida la adaptación a ciertas áreas ecológicas, la producción total de forraje y su distribución estacional. En menor medida se asocia también con la persistencia y con algunos aspectos parciales de tolerancia a ciertas enfermedades y plagas. En líneas muy generales, las variedades SRI se recomiendan para el NOA, Cuyo y toda la Región Pampeana. Las variedades CRIM se recomiendan para toda la Región Pampeana y para algunas zonas de la Región Patagónica. Finalmente, las CRI se aconsejan para la Región Pampeana Sur y la Región Patagónica. En la Región Pampeana, la utilización de variedades de GRI inferior a 5 debería desalentarse porque su excesivo reposo invernal para esas condiciones ambientales se asocia con un menor potencial productivo. En los últimos años se han incorporado al mercado algunas variedades de GRI 10, que potencialmente ofrecen menor intervalo entre cortes y mayor número de cortes año<sup>-1</sup>; sin embargo, en la Región Pampeana, sea por bajas temperaturas y/o por deficiencias hídricas invernales, se comportan en algunas situaciones como de GRI 9.

Las variedades SRI se utilizan en los sistemas pastoriles de producción lechera e internada intensiva y también para la producción de heno bajo riego en las regiones del NOA y Cuyo. En líneas generales, son muy susceptibles a enfermedades foliares y exigen un manejo bastante cuidadoso en condiciones de pastoreo. No obstante, durante los últimos años, la mejora de los programas de selección ha permitido desarrollar materiales sin reposo que además de excelentes potenciales de rendimiento y persistencia tienen un muy buen comportamiento frente a las enfermedades de hoja.

Los cultivares CRIM se prefieren para la producción de carne o la producción de heno en muchas zonas de la Región Pampeana; en general, son algo menos susceptibles a las enfermedades de hoja que las SRI y toleran mejor un manejo del pastoreo no muy ajustado. Si bien tienen un rendimiento total de forraje muy similar a las SRI, presentan un ciclo vegetativo más corto con un pronunciado pico de producción en primavera. Las variedades CRI se recomiendan para la producción de carne o heno en zonas más frías; tienen un ciclo productivo más corto que las CRIM y, por ende, más concentrada su producción de forraje.

### ***Resistencia a plagas y enfermedades***

El nivel de resistencia a las plagas y enfermedades económicamente más importantes es otro criterio trascendente para elegir los cultivares más adaptados a un determinado ambiente. En la Argentina es particularmente recomendable contar con buenos niveles



de resistencia a la podredumbre húmeda o fitóftora (*Phytophthora megasperma* Drechs. f. sp. *medicaginis*) y a los pulgones moteados (*Terioaphis trifolii* Monnel), azul (*Acyrtosiphon kondoi* Shinji) y verde (*A. pisum* Harris). También es conveniente tener por lo menos niveles de moderada resistencia a la antracnosis (*Colletotrichum trifolii* Bain & Essary) y a la fusariosis [*Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. *medicaginis* (Weimer)]. Es interesante señalar que en la mayoría de los cultivares obtenidos en los principales programas de mejoramiento genético, tanto nacionales como extranjeros, se aprecia un notable incremento de los niveles de resistencia a las plagas y enfermedades antes mencionadas, alcanzando valores promedio de resistencia muy superiores a los registrados hace 20 años atrás.

En la Argentina no se debe prestar atención a enfermedades o plagas de escasa o ninguna importancia en el país, como el marchitamiento bacteriano [*Clavibacter michiganense* subsp. *insidiosum* (McCull) Davis y col.], la verticilosis (*Verticillium albo-atrum* Reinke & Berth) o los nemátodos de la raíz (*Meloidogyne* spp). Existen en la Argentina otros problemas sanitarios de gran importancia, como la «corchosis» (*Xylaria* spp.) y el «complejo de podredumbre de corona y raíz» (*Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Phoma* spp, etc.), para los que lamentablemente no existen hasta el momento cultivares resistentes. Tampoco los hay para el complejo de gorgojos o para las isocas cortadoras y defoliadoras, plagas de relevancia cuyo control deberá hacerse por los medios que se detallan en el Capítulo 9.

### **Potencial de producción y persistencia**

La adaptación que tiene una variedad a un ambiente determinado se expresará a través de su producción de forraje y su persistencia a lo largo de los años. Por ello es importante que la variedad a utilizar se defina también por el comportamiento agronómico que haya exhibido en ensayos de evaluación conducidos en las localidades más próximas al área en que la pastura se quiere implantar. Esos datos de rendimiento y persistencia pueden consultarse en las publicaciones que realizan los organismos o entidades que conducen redes de evaluación de cultivares. Tal es el caso de «Avances en Alfalfa – Ensayos Territoriales», publicación anual que resume la información producida en todas las localidades que integran la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA (15). Para más detalles se sugiere consultar el Capítulo 7. También puede consultarse «Pastura Test – Red de Ensayos de Variedades Forrajeras», publicada también anualmente por la Cámara de Semilleras de la Bolsa de Cereales (4). Asimismo, existen también otras entidades que llevan a cabo ensayos de evaluación, además de los conducidos por los propios criaderos o empresas semilleras.

Si bien las evaluaciones mencionadas previamente son conducidas bajo condiciones de corte y en parcelas de pequeñas dimensiones, la información es útil para indicar el potencial de producción y persistencia que puede esperarse en un área determinada. En general, el comportamiento de los cultivares bajo esas condiciones guarda una alta correlación con el desempeño que puede esperarse bajo las condiciones de campo o pastoreo directo racionalmente implementado.

### **Calidad genética y precio de la semilla**

No pocos productores suelen definir la compra de una variedad sobre la base del precio de la semilla. El concepto que subyace en este proceder supone que no hay ma-

yores diferencias entre las variedades y que, en consecuencia, ese menor gasto se traduce en un ahorro significativo. No obstante, ese «ahorro» -que puede ser coyunturalmente importante en el momento de la inversión inicial- puede tornarse muy caro cuando se analiza el costo final del forraje producido en función de la productividad y la duración de esa pastura. Privilegiar la calidad genética de la variedad, que implica mayor potencial de producción y persistencia, por sobre el precio de compra es un criterio de enorme trascendencia para la vida útil de la pastura y la rentabilidad de la inversión.

Como ejemplo de lo anterior se presentan los datos que se resumen a continuación. Analizando la información producida por la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA (16, 17, 18) para el período 1990/2000, se observa que las variedades Monarca SP INTA y Victoria SP INTA superaron a otros cultivares evaluados (Cordobesa INTA, CUF 101, Alfagraze, WL 318, Quadrella, Sequel HR, etc.) en valores que fueron desde las 6,20 a las 27,75 tn MS ha<sup>-1</sup> de forraje promedio acumulado en las cuatro temporadas de evaluación. Atendiendo a que en algunos ensayos esas variedades de INTA no siempre fueron las de mayor rendimiento, es oportuno puntualizar que las diferencias apuntadas en favor de las mejores variedades (como por ejemplo: Rosillo, DK 194 y Bacana en algunos casos) puedan ser todavía mayores. Además, si la comparación se hiciera respecto de materiales muy obsoletos y de escaso o nulo valor genético (ej: Romagnola, Hunter River, Sirosal, Algonquin, etc.), la brecha también sería considerablemente mayor.

Una alfalfa con 65% de digestibilidad tiene un contenido energético de 2,34 Mcal EM kg MS<sup>-1</sup> (es decir, 2,34 megacalorías de energía metabólica por cada kilogramo de materia seca). Un novillo de 300 kg requiere 11 Mcal EM para su mantenimiento metabólico y 12 Mcal EM por cada 1 kg de aumento de peso vivo (1). Vale decir que con una alfalfa de 65% de digestibilidad, se necesitarían 4,7 kg MS (11 Mcal EM / 2,34 Mcal EM por kg MS = 4,7 kg MS) para gastos de mantenimiento y 5,3 kg MS (12 Mcal EM / 2,34 Mcal EM por kg MS = 5,3 kg MS) por cada 1 kg de aumento de peso vivo. Dicho de otro modo: por cada 10 kg de MS de alfalfa se ganaría 1 kg de peso vivo de novillo. En consecuencia, los mayores rendimientos de Monarca SP INTA y Victoria SP INTA significan una producción «adicional» de carne de 620 a 2.775 kg ha<sup>-1</sup> por sobre las otras variedades mencionadas (3).

De modo similar podría calcularse el impacto de esas cifras en una explotación tampera. La producción de 1 litro de leche demanda un consumo energético de 1,17 Mcal EM. Una vaca lechera en su 3<sup>er</sup> mes de lactancia tiene un consumo máximo estimado de 17,2 kg MS día<sup>-1</sup> y requiere 17,28 Mcal EM para gastos de mantenimiento (5). De acuerdo con los valores calculados anteriormente, 1 kg MS de alfalfa con 65% de digestibilidad posee 2,34 Mcal EM. En consecuencia, los 17,2 kg MS de alfalfa equivalen a 40,25 Mcal EM (17,2 x 2,34 = 40,25). Vale decir que del contenido energético total consumido en un día (40,25 Mcal EM), descontando los requerimientos de mantenimiento (17,28 Mcal EM), quedarían disponibles para la producción de leche 22,97 Mcal EM. Si 1,17 Mcal EM son necesarios para producir 1 litro de leche, las 22,97 Mcal EM podrían transformarse en 19,6 litros de leche. En resumen: por cada 17,2 kg de MS de alfalfa (65% digestibilidad) se podrían producir casi 20 litros de leche. En consecuencia, el rango de 6,20 a 27,75 tn MS ha<sup>-1</sup> de Monarca SP INTA y Victoria SP INTA podrían significar una producción «adicional» de leche de entre 7.209 y 32.267 litros durante la vida del alfalfar (3).

Aún aceptando que los procedimientos de cálculo anteriores pueden catalogarse de teóricos, las conclusiones aparecen como conceptualmente válidas. Por otro lado, es probable que en las estimaciones señaladas el impacto económico real de las mejores

variedades esté todavía subestimado. En efecto, en el análisis anterior no se incluyen los menores costos de control de pulgones que puede suponer el empleo de variedades resistentes; ni el probable menor empleo de herbicidas que puede conllevar la disponibilidad de alfalfas de mayor vigor y persistencia; ni los menores requerimientos de suplementación que puede suponer la mayor y más extendida producción de forraje de las variedades mejoradas.

### ***Semilla certificada***

La mejor forma de asegurar la pureza genética y física de la variedad elegida es adquiriendo semilla certificada, con el correspondiente rótulo del INASE que avale su origen y características. De este modo, no sólo se comprará semilla legal sino que además se asegurarán las cualidades que motivaron la elección. Por otro lado, la semilla legalmente adquirida también permite que los criaderos accedan a la necesaria compensación económica que les posibilite reinvertir en el proceso de selección y desarrollo de nuevos y mejores cultivares. Obviamente, todo eso contribuye al progreso sostenido del sector agropecuario nacional.

La alfalfa es una especie de fiscalización obligatoria, de manera que la compra de «bolsa blanca» o cualquiera otra forma de semilla no rotulada es ilegal. Además, como ya se señalara, se corre el riesgo de sembrar en el campo una semilla de la que no sólo se desconoce la procedencia sino que puede estar contaminada con malezas o no contar con los valores mínimos requeridos de germinación. Por el contrario, la semilla certificada ofrece la posibilidad de realizar al proveedor cualquier reclamo que corresponda.

Según la resolución de la SAGPyA 37/2004, la estampilla oficial colocada en el rótulo es la que otorga el carácter de **fiscalizada** a la semilla. Esas estampillas deben contener el logotipo del INASE, organismo de aplicación de la Ley de Semillas (20.247). La resolución 37/2004 también establece el diseño del rótulo que las bolsas deberán tener, incluyendo la información que éste debe necesariamente suministrar. Entre los datos más relevantes de esa información, se destacan: a) *especie*, vale decir, el nombre común (alfalfa) y botánico (*Medicago sativa* L.); b) *variedad*, o sea, el nombre de la misma; c) *categoría*, vale decir si se trata de semilla original (fundación), registrada (primera multiplicación) o certificada (segunda multiplicación); d) *poder germinativo* (porcentaje) y *pureza físico-botánica* (porcentaje); en caso de que estos valores (o alguno de ellos) se encuentre por debajo de los mínimos legales establecidos, se deben consignar los valores reales y se debe incluir la leyenda «semilla con germinación y/o pureza físico-botánica por debajo de la tolerancia establecida»; e) *contenido neto* (kg), y f) *año de cosecha*.

En la Argentina, sólo puede comercializarse semilla de alfalfa fiscalizada de aquellos cultivares que estén inscriptos en el Registro Nacional de Cultivares (RNC), que el INASE -como organismo executor de la ley 20.247- lleva a tal efecto. Ante la duda sobre si un cultivar ofrecido en el mercado está o no en el RNC, se puede ingresar en el sitio web del INASE (<http://www.inase.gov.ar/>) y consultar el Catálogo Nacional de Cultivares Forrajeros. Dicho catálogo también puede consultarse a través del sitio web de la Cámara de Semilleros de la Bolsa de Cereales (<http://www.argenseeds.com.ar/>).

## **Perspectivas para el futuro**

### ***Área de siembra y mercado de semilla de alfalfa***

Es probable que durante los próximos años el área alfalfada en el país se estabilice en

alrededor de 5 millones de ha y que el mercado ronde los 7-8 millones de kg de semilla natural. No obstante, de mantenerse las buenas condiciones para la producción y la exportación de carnes, y las interesantes perspectivas para la lechería, es factible que a mediano plazo se registre algún incremento de la siembra de alfalfa y que su superficie alcance finalmente los 5,5 millones de ha. Esta última predicción se apoya también en dos hechos importantes: 1) la notoria evolución de los programas de mejoramiento genético en los grupos de menor reposo (GRI 7 a 10), que produce cada vez mejores cultivares, con mayor potencial de producción y persistencia y más altos niveles de resistencia combinada a pulgones y enfermedades, y 2) la continua evolución en el uso de las adecuadas técnicas de manejo que requieren las variedades sin reposo, a fin de poder expresar su potencial productivo.

Por otro lado, el creciente interés de muchos programas de mejoramiento en el mundo para incorporar tolerancia a factores abióticos (salinidad, acidez, anegamiento) es probable que en el mediano a largo plazo produzca variedades más adaptadas a esos ambientes restrictivos. Obviamente, su lanzamiento en el país permitiría ampliar el área alfalfada e incorporar al cultivo una significativa cantidad de hectáreas actualmente consideradas como marginales o poco productivas.

En el ámbito mundial es probable que en el corto y mediano plazo la oferta de semilla de alfalfa continúe siendo apenas suficiente para abastecer la creciente demanda global. En consecuencia, la figura de los excedentes (*carry-over*) en la Argentina tenderá a disminuir. Para ello, son también condiciones necesarias que la producción nacional se mantenga dentro de sus niveles históricos y que la producción ilegal no alcance los altos volúmenes de las últimas temporadas, en las que se vio favorecida por las propicias condiciones ambientales que se registraron en vastas zonas del país.

Respecto de la oferta de semilla peleteada, es factible que en el mediano plazo se incremente su presencia en el mercado. Es muy probable que cerca del 90-95% de la semilla que se ofrezca en el mercado argentino durante los próximos años -y en particular de cultivares de GRI 7 a 10- incluya esta tecnología.

La actual paridad cambiaría incentiva la producción de semilla de origen nacional. Sin embargo, la mayoría de las áreas productoras de nuestro país presentan rendimientos que además de bajos son inestables. Adicionalmente, la mayor parte de la semilla nacional es cosechada tarde (fines de febrero o marzo) y alcanza el mercado cuando la época propicia de siembra ya finalizó o está próxima a hacerlo. Se han realizado esfuerzos para producir semilla de alfalfa en áreas ecológicamente más aptas que el valle inferior del Río Colorado (sur de Buenos Aires), que es donde se concentra gran parte de la producción nacional. En muchos casos, esas nuevas zonas tropiezan con la falta de infraestructura de tradición semillera. Las regiones de Cuyo y del NOA aparecen como alternativas interesantes. No obstante, exceptuando algunos esfuerzos aislados que han invertido en el desarrollo y la incorporación de tecnología (como el riego por goteo), el país debería concentrar esfuerzos para desarrollar una industria especializada en la producción de semilla de alfalfa. Lamentablemente, al menos en el futuro cercano, no se vislumbran grandes cambios en este sentido.

### ***Mejoramiento genético y desarrollo de cultivares***

La demanda por variedades mejoradas continuará en forma sostenida por parte de los productores ganaderos. En el futuro cercano, los principales criterios de selección continuarán siendo el rendimiento de forraje, la persistencia y la resistencia múltiple a

plagas y enfermedades. En este último aspecto, la incorporación de nuevas técnicas, como el uso de marcadores moleculares o la incorporación de transgénesis, permitirán hacer más eficiente la detección de genotipos resistentes y/o ampliar el espectro de problemas a resolver.

El mejoramiento de la calidad forrajera de la alfalfa no ha tenido la atención que se anticipaba hace algunos años. No obstante, es una tema que todavía merece ser desarrollado. Las futuras acciones de mejoramiento deberían orientarse no sólo a la disminución de fibra (particularmente lignina) sino también al aumento del contenido de carbohidratos no estructurales y a la mejora de la relación entre proteína degradable y no degradable en rumen. Otro aspecto que incrementará el valor nutritivo del cultivo es el desarrollo de cultivares con menor potencial timpanizante (empaste). Con relación a esto último, el lanzamiento comercial de un cultivar desarrollado por un emprendimiento entre el INTA y una empresa privada contribuirá a atenuar el problema. Esta variedad se compone de genotipos seleccionados por su menor desaparición inicial *in situ*, evaluada luego de 4 h de permanencia en el rumen de novillos fistulados (2).

Otro aporte significativo a la mejora de la producción del cultivo lo constituirá la incorporación al mercado nacional de variedades de alfalfa resistentes a glifosato. Si bien el lanzamiento de estos materiales en el país deberá todavía superar una serie de requisitos, en otros países ya están disponibles (19), habiéndose logrado en EE.UU. y México la autorización para su comercialización en julio de 2005. Aun con las salvedades que se indican en el Capítulo 10, las alfalfas resistentes a glifosato harán más eficiente el control de las malezas mediante la reducción de costos, la ampliación del espectro de control y el empleo de un herbicida de acción total de bajo impacto ambiental.

Durante los últimos años, el avance de la agricultura sobre las pasturas ha provocado no sólo una intensificación de los sistemas pastoriles sino también su desplazamiento parcial hacia zonas con mayores limitaciones edáficas y/o climáticas. La incorporación de ambientes restrictivos desde el punto abiótico plantea problemas como salinidad, acidez, anegamiento, sequía, etc. En ese contexto, el desarrollo de cultivares adaptados a esas condiciones adversas aparece como un tema que tendrá bastante atención en el futuro mediato. La definición de protocolos de selección para esos objetivos (ver Capítulo 5) y el avance de las técnicas biotecnológicas para la obtención de materiales transgénicos (ver Capítulo 6) abren perspectivas muy interesantes para la solución de estos problemas.

## Bibliografía

- 1- AGRICULTURAL and FOOD RESEARCH COUNCIL. 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. *In*: G. Alderman (ed) Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- 2- BASIGALUP, D. H., C. V. CASTELL y C. D. GIAVENO. 2004. Response to selection for lower initial rate of dry matter disappearance in the development of a bloat tolerant non dormant alfalfa population. *Journal of Genetics & Breeding* 57(1): 31-38.
- 3- BASIGALUP, D. H. y J. M. SIMONDI. 2002. Criterios económicos para decidir qué alfalfa sembrar. *Forrajes y Granos*. Año 7 - N° 80 (Septiembre), pp. 74-76.
- 4- CÁMARA DE SEMILLERISTAS DE LA BOLSA DE CEREALES. 2003. Pastura Test. Resultados de la campaña 2002/03. Buenos Aires, Argentina, 74 p.
- 5- CASTILLO, A., O. MELO y C. BOETTO. 1998. Cálculo de requerimientos energéticos y proteicos del ganado lechero. INTA-Universidad Católica de Córdoba. Eudecor, Córdoba, Argentina.



- 6- DONOVAN, T. J. and B. D. MEEK. 1983. Alfalfa responses to irrigation treatment and environment. *Agronomy Journal* 75: 461-464.
- 7- HEICHEL, G. H. 1983. Alfalfa. In: I. D. Teare & M. M. Peet (ed) *Crop Water Relations*. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA, pp. 127-155.
- 8- INDEC. Encuesta Nacional Agropecuaria, años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000 y 2001.
- 9- KIESSELBACH, T. A., J. A. RUSSELY and J. A. ANDERSON. 1929. The significance of subsoil moisture in alfalfa production. *J. of Am. Soc. of Agronomy* 21(3): 241-268.
- 10- LÓPEZ, A., J. L. DARDANELLI, D. COLLINO, R. SERENO y R. W. RACCA. 1997. Efecto del grado de reposo invernal sobre la producción, consumo y eficiencia en el uso del agua en alfalfa cultivada bajo riego. *RIA* 28 (2): 41-48.
- 11- 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.
- 12- ROMERO, N. A., N. A. JUAN y L. A. ROMERO. 1995. Establecimiento de la alfalfa en la Región Pampeana. In: 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.
- 13- ROMERO, N. A., C. BARIGGI y G. SCHENKEL. 1977. Exploración de deficiencias nutritivas para la alfalfa en suelos pampeanos mediante ensayos de campo. INTA, EEA Anguil. Proyecto FAO-INTA Argentina 75/006. Documento de Trabajo N° 3, 76 p.
- 14- SAMMIS, T. W. 1981. Yield of alfalfa and cotton as influenced by irrigation. *Agronomy Journal* 73: 323-328.
- 15- SPADA, M. del C. (ed). 2005. *Avances en Alfalfa N° 15 (Año 15)*. Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Alfalfa. INTA, EEA Manfredi, 50 p.
- 16- SPADA, M. del C. (ed). 2000. *Avances en Alfalfa N° 10 (Año 10)*. Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Alfalfa. INTA, EEA Manfredi, 64 p.
- 17- SPADA, M. del C. (ed). 1996. *Avances en Alfalfa N° 6 (Año 6)*. Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Alfalfa. INTA, EEA Manfredi, 62 p.
- 18- SPADA, M. del C. (ed). 1994. *Avances en Alfalfa N° 4 (Año 4)*. Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Alfalfa. INTA, EEA Manfredi, 72 p.
- 19- VAN DEYNZE, A., D. H. PUTNAM, S. ORLOFF, T. LANINI, M. CANEVARI, R. VARGAS, K. HEMBREE, S. MUELLER and L. TEUBER. 2004. *Roundup Ready Alfalfa: An Emerging Technology*. Univ. of California – Division of Agriculture & Natural Resources. Publication 8153, 12 p.



## Morfología de la alfalfa

*Prof. Cs. Nat. Nora E. Rodríguez*  
*Ing. Agr. (MSc) María del Carmen Spada*

Colaboradoras especiales  
*Agr. Sandra F. Eroles*  
*Ing. Agr. Carolina Guzmán*  
*Est. Cs. Biol. Yanina Gillij*  
EEA Manfredi-INTA.



## Introducción

La Morfología Botánica es la ciencia que estudia la forma de las plantas, abarcando tanto la morfología general como la experimental. La primera incluye principalmente a la **organografía**, que es la descripción de la forma de los distintos órganos vegetales (5).

Basado en un trabajo de Teuber y Brick (16), la finalidad de este capítulo es precisamente describir, en forma resumida y práctica, los órganos que forman la planta de alfalfa, incluyendo una serie de imágenes que ilustran las descripciones en cada caso. En general, la bibliografía específica que trata este tema es muy escasa y no siempre fácil de conseguir. Ello se relaciona con el hecho de que la alfalfa es estudiada fundamentalmente como planta forrajera, resaltando sólo los aspectos de rendimiento de forraje y manejo para la producción de carne y leche.

Para una mayor claridad en el tratamiento del capítulo, los órganos o estructuras de la alfalfa se han dividido en semilla, raíz, corona, tallo, hoja, flor y fruto. Finalmente, se incluyen la definición y la caracterización de los estadios de madurez de la alfalfa, que tienen una gran importancia en el manejo del cultivo.

## Organografía de la alfalfa

### *Semilla*

El fruto, que recibe en este caso el nombre de legumbre, da origen a las semillas. Las mismas poseen generalmente forma arriñonada y color amarillento, pero también se pueden encontrar semillas angulares y de coloración que varía desde el verde oliva a distintas tonalidades de marrón (Figura 1).

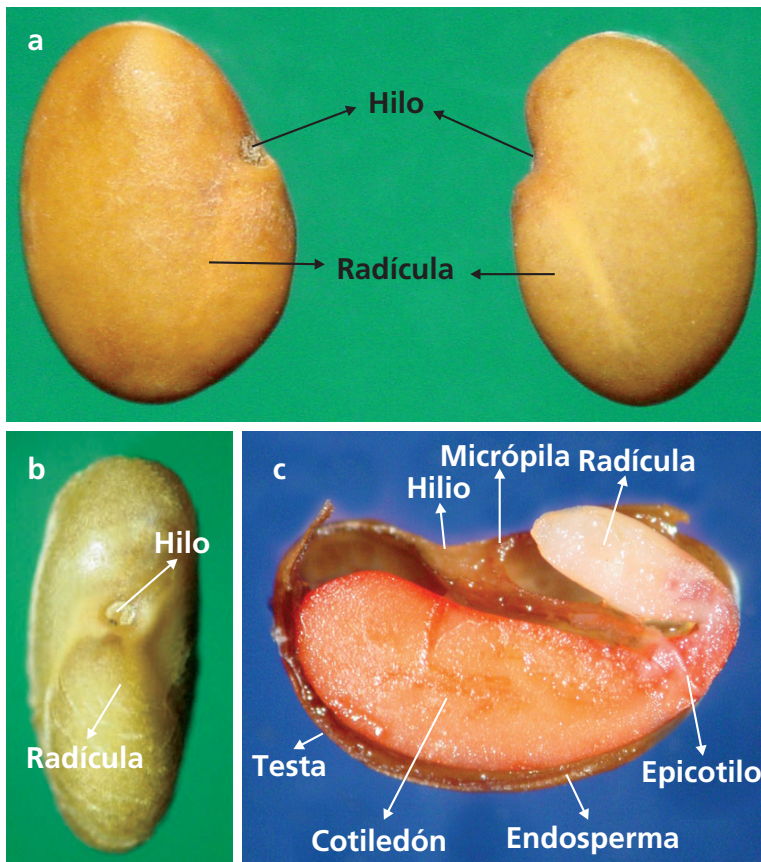


**FIGURA 1:** Diferentes formas y colores de la semilla de alfalfa



Las semillas, en estado maduro, tienen aproximadamente 1-2 mm de longitud por 1-2 mm de ancho y 1 mm de espesor. Están constituidas por el funículo, el tegumento (testa), el embrión y el albumen (Figura 2). El funículo es el que mantiene unida la semilla al fruto; al secarse, se desprende y forma una cicatriz llamada hilio. El tegumento o testa es la capa externa que rodea al embrión y le brinda protección, siendo además el responsable del color de la semilla.

El embrión originará la futura plántula y 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 hipocótilo dará origen a las partes aéreas de la plántula. Por su parte, la plúmula, que es un esbozo formado por hojitas, al desarrollarse originará el tallo. Los cotiledones, gruesos y carnosos, almacenan la mayor parte del 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.



**FIGURA 2:** Partes de la semilla de alfalfa. Sección externa: vistas lateral (a) y frontal (b). Sección interna: vista en corte transversal (c). Adaptado de Del Pozo Ibáñez (3).

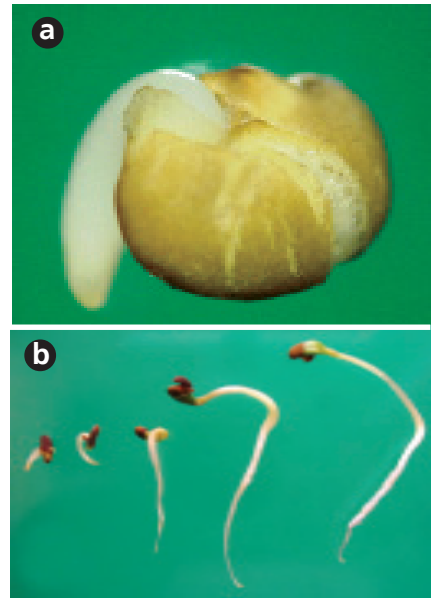
### ***Germinación y primeras etapas del desarrollo***

En el proceso de 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

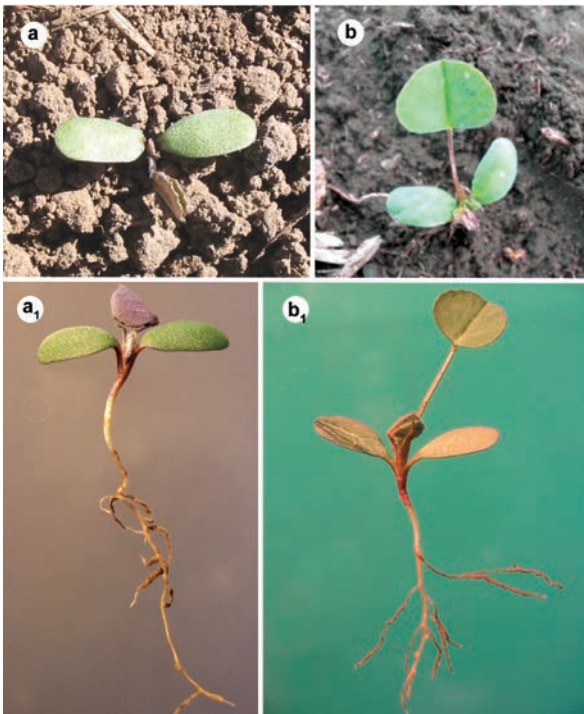
talluelo, que se alarga hasta sacar los cotiledones por encima de la superficie del suelo (Figura 3). Estos procesos se realizan a costa de las reservas existentes en la semilla (3).

Para que las semillas puedan embeberse es necesario que encuentren en el suelo la humedad suficiente. Sin embargo, y atendiendo a que la plántula también precisa condiciones mínimas de aireación para su desarrollo, un exceso de humedad puede paralizar la germinación por reducción del volumen de poros libres en el suelo. Por otro lado, en la alfalfa es común encontrar semillas «duras», que son aquellas incapaces de embeberse de agua aun en condiciones óptimas de humedad. Este fenómeno, que responde a un mecanismo de supervivencia de la especie, se debe a la existencia de un engrosamiento de las paredes exteriores de las células en empalizada de la testa y constituye una barrera física para la absorción de agua. El porcentaje de semillas duras, que puede ser alto al momento de la cosecha, va disminuyendo con el tiempo. El mejor método para eliminar las semillas duras es el escarificado mecánico, que consiste en exponer la testa a la acción de superficies abrasivas.

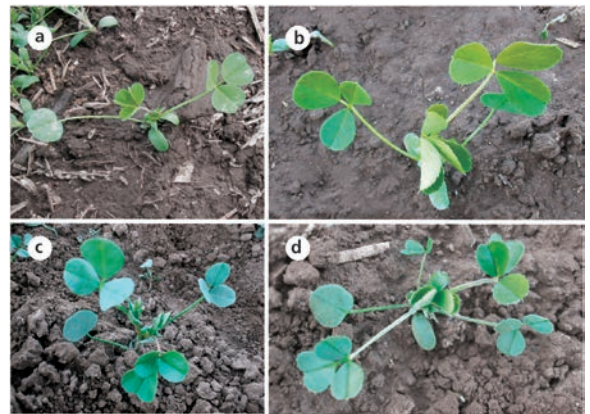
A medida que el desarrollo de la parte aérea de la plántula continúa, el talluelo se alarga y expone los cotiledones por encima de la superficie del suelo (Figura 4a). Posteriormente, la plántula exhibe primero una hoja unifoliada (Figura 4a<sub>1</sub>, b y b<sub>1</sub>) y luego las hojas trifoliadas, también llamadas «verdaderas» (Figura 5).



**FIGURA 3:** Germinación de la semilla de alfalfa: emergencia de la radícula (a) y desarrollo de la plántula, con aparición de los cotiledones (b).



**FIGURA 4:** Primeras etapas de desarrollo vegetativo: cotiledonal (a y a<sub>1</sub>) y hoja unifoliada (b y b<sub>1</sub>).



**FIGURA 5:** Primeras etapas de desarrollo vegetativo, con la aparición de dos (a), tres (b), cuatro (c) y cinco (d) hojas trifoliadas.



## Raíz

En general, el sistema radical de la alfalfa es robusto y profundo, y su función principal es la absorción de agua. Si no existen impedimentos en el perfil de suelo, la raíz puede alcanzar los 2 a 5 metros en sólo 2 a 4 años de vida (Figura 6), de modo que la posibilidad de extraerla de las capas profundas del suelo le ha conferido a la alfalfa su reputación de tolerante a la sequía.

La raíz principal de la planta emerge cerca del hilio y de ella puede o no partir un variado número de raíces secundarias o laterales. El sistema radical de la alfalfa puede clasificarse en cuatro tipos generales: raíz pivotante o típica (axonomorfa), ramificada, rizomatosa y rastreira (6, 9, 12). En alfalfas sin reposo invernal (GRI 8-11), mayoritariamente se observa la presencia de una raíz pivotante sin muchas ramificaciones (Figura 7a). Las alfalfas de reposo invernal intermedio o moderado (GRI 4-7) suelen presentar un alto número de raíces secundarias (Figura 7b), en relación directa con su mayor grado de latencia. En otros tipos de alfalfas, comúnmente con marcado reposo invernal (GRI 1-3), las raíces laterales poseen yemas de las que se originan tallos que, al emerger al exterior, formarán nuevas plantas o «matas». Cuando las yemas activas son sólo 1 ó 2, y las nuevas «matas» se desarrollan a poca distancia de la planta original, esas raíces se denominan rizomatosas (Figura 7c); por el contrario, si las yemas activas son varias y los renuevos alcanzan a cubrir una extensión de cierta magnitud, esa raíz se denomina rastreira (Figura 7d). Mientras que la existencia de una raíz pivotante se asocia con alfalfas de la especie *Medicago sativa*, la presencia de un alto número de raíces secundarias, rizomatosas o rastreiras se asocia con aportes crecientes de germoplasma de *M. falcata* y *M. varia*.



FIGURA 6: Raíces de alfalfa de 2 años que superaron los 1,40 m de profundidad en un suelo haplustol éntico de la EEA Manfredi-INTA.

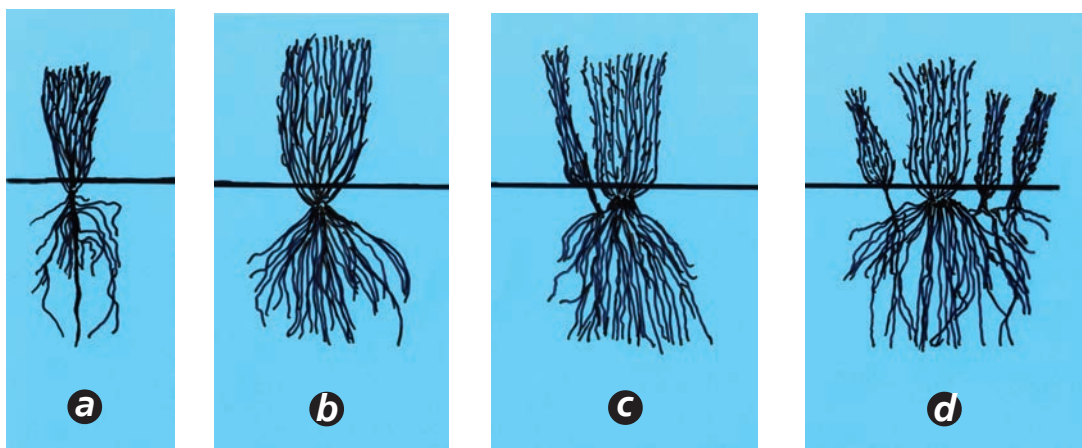


FIGURA 7: Distintos tipos de raíces de alfalfa: pivotante (a), ramificada (b), rizomatosa (c) y rastreira (d). Adaptado de Goplen y col. (6).

## Tallo y Corona

El tallo primario es cuadrado en su sección transversal y presenta estomas y pelos. No sólo tiene crecimiento primario sino que también posee un crecimiento secundario que da origen a un eje leñoso o porción perenne, que forma parte de la corona. En su parte herbácea, presenta nudos desde donde nacen las hojas. El número de los tallos depende de la edad y el vigor de la planta, y puede llegar hasta 20 (Figura 8). El crecimiento de los tallos es inducido por su utilización (pastoreo o corte) o por un nuevo ciclo fisiológico de crecimiento (1).

Los tallos son usualmente de consistencia maciza, aunque en algunos casos pueden encontrarse tallos huecos, como en el ecotipo argentino *Saladina*. Existen también diferentes hábitos de crecimiento, fuertemente asociados al grado de reposo invernal. Como regla general, puede afirmarse que las alfalfas sin reposo invernal presentan tallos de porte erecto, en tanto que las alfalfas de reposo intermedio o marcado los poseen de porte semierecto o semirrastrero, respectivamente.

A medida que el desarrollo de la planta continúa, el conjunto de la parte basal de tallos nuevos y viejos forma, entre la parte aérea y la raíz, una estructura que recibe el nombre de corona (Figura 9). Más adelante, en la planta adulta, la corona incluirá la porción perenne de los tallos.



FIGURA 8 – Tallos de alfalfa, con nudos desde donde salen las hojas trifoliadas.



FIGURA 9: Fases iniciales de la formación de la corona en plantas de 4 meses.



En el proceso de formación de la corona, Jones (10) notó que si el eje primario –en lo referente a los cotiledones y a las primeras hojas verdaderas- está enterrado, la corona puede desarrollarse a partir del área más alta del eje. Por su parte, Hayward (8) estableció que en la conformación de la corona no intervienen las yemas ubicadas en la raíz.

La corona no es una estructura simple ni única sino que es una zona compleja que incluye varias estructuras separadas (16), como se muestra en la Figura 10. Si bien Stewart (15) había señalado que la corona incluía únicamente a las porciones perennes de tallos, Simmonds (14) concluyó que no sólo involucra a éstas sino también a la parte superior de la raíz. De todas maneras, la delimitación morfológica exacta de la corona tiene muy poca importancia, ya que -además de las partes involucradas de la planta- es razonable suponer que la sequía estival, el frío invernal, las prácticas culturales, el ataque de plagas y enfermedades, el vigor general y la edad de las plantas influyen en la cantidad y el tipo de partes vegetativas que pueden intervenir en su conformación (7).



**FIGURA 10:** Diferentes partes constitutivas de coronas ya formadas en plantas de 1 (a), 2 (b), 3 (c) y 4 (d) años de vida.

Además de su constitución morfológica, es conveniente resaltar la importancia funcional de la corona como estructura almacenadora de sustancias de reserva y sede de yemas a partir de las cuales se producirán los nuevos rebrotes de la planta. El ciclo acumulación/utilización de sustancias de reservas es fundamental para la vida de la planta y condiciona las prácticas de manejo del cultivo (ver Capítulo 12).

El tamaño (pequeño, intermedio, grande) y el tipo (compacta o cerrada, intermedia, abierta) de la corona dependen de factores genéticos y ambientales (Figura 11). En general, las alfalfas sin reposo invernal tienen coronas pequeñas y compactas, en tanto que los cultivares de mayor reposo invernal tienden a poseer coronas más anchas y



abiertas. No obstante, factores como la densidad de plantas, el tipo de suelo, el daño de plagas y enfermedades, el pisoteo de los animales o el daño de la maquinaria pueden influir grandemente en las características de la corona.



FIGURA 11: Coronas de distintos tipos y tamaños en plantas de 1 (a), 2 (b) y 3 (c) años.

## Hoja

La primera hoja de la plántula de alfalfa es unifoliolada y de forma orbicular. Las segundas y subsecuentes son pinnaticompuestas o imparipinnadas, y se originan en el ápice del tallo. Posteriormente, cuando la planta ya está desarrollada, las hojas pueden originarse del ápice del tallo o de las yemas laterales ubicadas en los nudos de los tallos.

Las hojas se unen al tallo por el peciolo y son usualmente trifolioladas, vale decir que se componen de tres folíolos peciolulados. Los folíolos son normalmente oblongos u obovados, pero se pueden encontrar formas desde redondeadas a obovado-oblongas e incluso lineales (Figura 12).

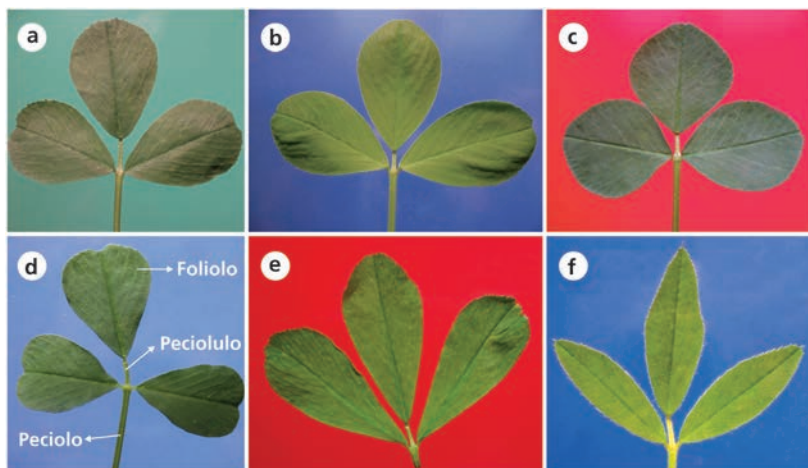
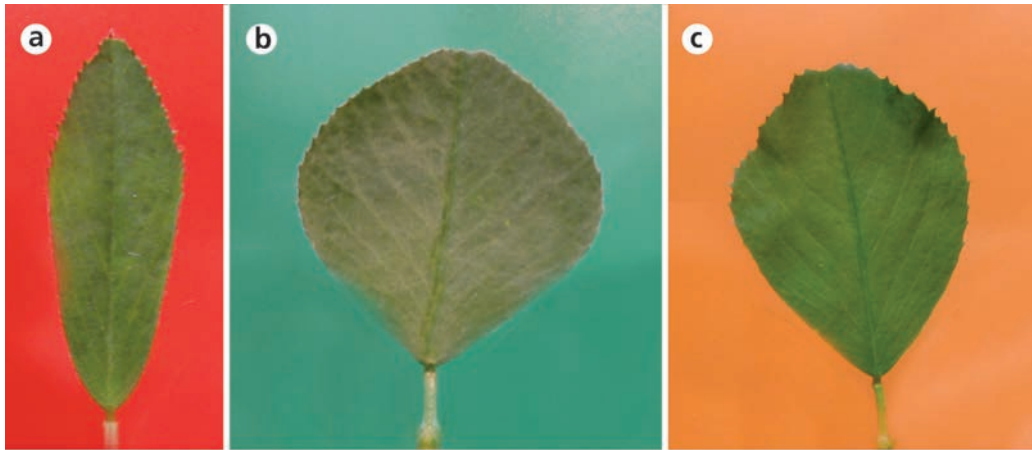


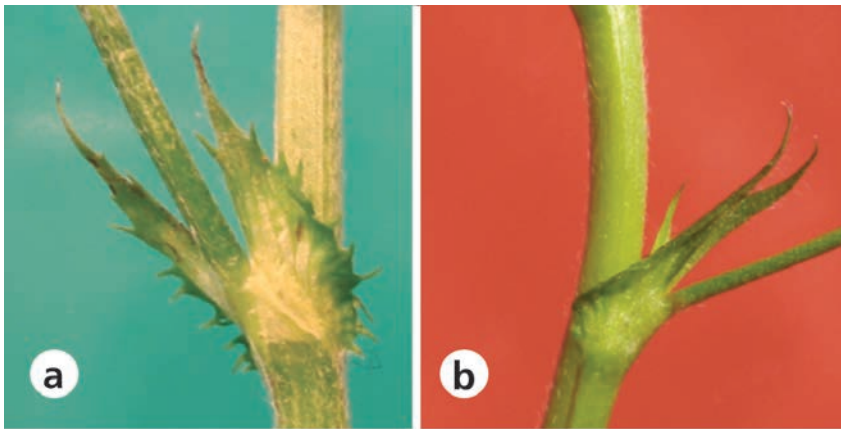
FIGURA 12: Distintas formas de folíolos en hojas trifolioladas de alfalfa: obovados (a), oblongos (b), redondeados (c), acoronados (d), espatulados (e) y lineales (f).

El borde de los folíolos es dentado usualmente sólo en el tercio superior, aunque también puede extenderse hasta la mitad superior o incluso el tercio inferior (Figura 13). La distribución de los bordes dentados guarda relación con la forma de los folíolos.



**FIGURA 13:** Diferente distribución del borde dentado de la lámina de los folíolos: sólo en el tercio superior (a), en la mitad superior (b), y hasta el tercio inferior (c).

Las hojas se disponen a lo largo del eje del tallo en forma alternada. En el nacimiento de las hojas se observan las estípulas, que son unos apéndices delgados a modo de pequeñas hojas modificadas situadas en la base del pecíolo y adheridas a sus lados. Las estípulas son normalmente laciniadas (Figura 14 a), aunque también pueden ser lisas (Figura 14 b). La experiencia indica que las primeras se encuentran usualmente en hojas de plantas de varios años, y que las últimas se hallan casi exclusivamente en hojas de plantas jóvenes. Por lo tanto, puede concluirse empíricamente que la presencia de estípulas laciniadas o lisas se relacionaría más con la edad de las plantas que con algún otro factor.



**FIGURA 14:** Los dos tipos de estípulas que se observan en hojas de alfalfa: (a) laciniada, en una planta de 3 años; y (b) lisa, en una planta de 1 año.

Los folíolos tienen una nervadura central prominente, que se extiende a lo largo de la lámina y de la cual parten nervaduras laterales pinnadas, que se subdividen formando una red. Las nervaduras son más notables en la cara abaxial (inferior) del folíolo, que es pubescente. Una observación microscópica de la hoja indica que los estomas (las aberturas o poros por donde se realiza el intercambio gaseoso de las hojas) son más numerosos en la cara superior y en el ápice del folíolo.

Si bien la hoja trifoliada es la situación normal, se pueden encontrar hojas con 4 (tetrafoliadas), 5 (pentafolioladas) o más folíolos y que –por ello– reciben el nombre genérico de hojas multifolioladas (Figura 15). Mucho más raros son los casos de hojas con folíolos divididos en lóbulos, o con colores distintos al verde (moteadas, amarillas, etc.).

Si bien la hoja trifoliada es la situación normal, se pueden encontrar hojas con 4 (tetrafoliadas), 5 (pentafolioladas) o más folíolos y que –por ello– reciben el nombre genérico de hojas multifolioladas (Figura 15). Mucho más raros son los casos de hojas con folíolos divididos en lóbulos, o con colores distintos al verde (moteadas, amarillas, etc.).



FIGURA 15: Hojas multifolioladas de alfalfa, exhibiendo desde 4 hasta 6 folíolos.

## Flor

La flor se desarrolla cuando el ápice del tallo pasa del estado de crecimiento vegetativo al reproductivo. Este cambio, que se llama transición, comienza con la aparición de una protuberancia en la axila del primordio foliar, adyacente al ápice del tallo. De cada primordio se origina una inflorescencia en forma de racimo simple (Figura 16).

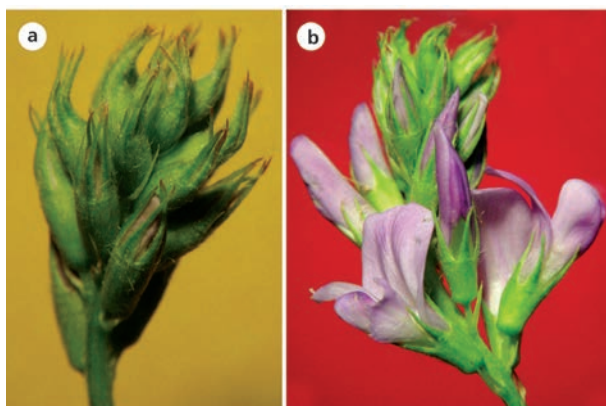


FIGURA 16: Inflorescencia de la alfalfa: racimo con botones florales (a) y racimo con 2 flores abiertas (b).

La flor de la alfalfa es completa y está formada por el cáliz, la corola, los estambres y el gineceo. Responde a los caracteres sistemáticos de la subfamilia *Papilionoidea*, o sea que posee una corola papilionada en forma de mariposa (Figura 17). El cáliz consta de cinco sépalos soldados formando un tubo; sin embargo, cada sépalo termina en un lóbulo o diente que es mayor en longitud al largo del tubo calicino (Figura 17 b). La corola está formada por cinco pétalos desiguales: el estandarte, que es el superior y el más grande de los cinco; las alas, que son dos

pétalos más pequeños que se ubican a ambos lados del estandarte; y la quilla, que está envuelta por las alas y que se forma por dos pétalos soldados que se ubican más internamente (3) (Figura 17 a).

Los estambres son 10 y están divididos en dos grupos: uno constituido por nueve, soldados en la base; y el restante formado por el décimo, que está libre y más cerca del estandarte. Esta disposición, que recibe el nombre de diadelfia, indica que los estambres de la alfalfa son diadelfos.

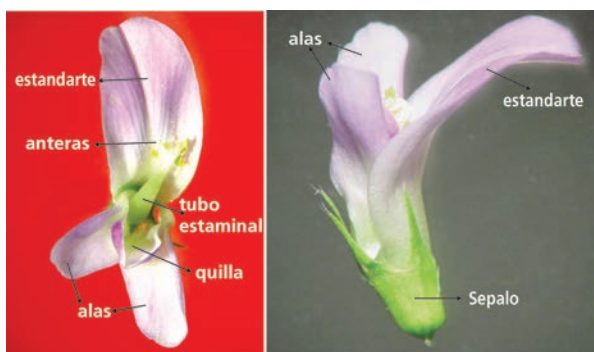


FIGURA 17: Estructura de la flor de la alfalfa: vista superior (a) y vista lateral (b).



Los filamentos de los 9 estambres soldados tienen distinta longitud y, al fusionarse para formar el tubo, se alternan los largos con los cortos. Por el interior del tubo que forman pasa el estilo, que remata en un estigma rodeado por las anteras de los estambres fusionados. El gineceo presenta un carpelo, que desarrolla un ovario súpero, y posee un estilo y un estigma bien definidos.

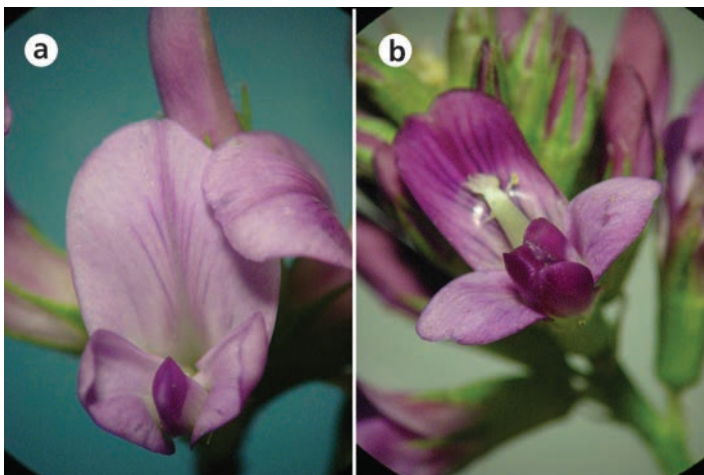


**FIGURA 18:** Algunos colores de flor de alfalfa. En sentido horario: azulado, violeta claro, púrpura claro y púrpura oscuro.

contiene empaquetado en su interior al estilo. De ese modo, la polinización sólo es posible cuando -al separarse las alas a través de un proceso que se denomina desenlace floral- la columna estaminal se libera y expone el estigma al contacto con el polen (Figura 19). El movimiento brusco que se produce al liberarse la columna estaminal provoca la apertura de las anteras maduras y la consiguiente diseminación de los granos de polen.

Diversos mecanismos naturales pueden provocar el desenlace floral, como la acción

de insectos y las variaciones de temperatura, humedad y velocidad del viento. También lo puede provocar artificialmente el hombre con movimientos mecánicos provocados con la mano o con diversos instrumentos. La flor puede fecundarse con su propio polen (autofecundación o autogamia) o con el polen de otra flor (fecundación cruzada o alogamia). No obstante, la alfalfa es una especie de fecundación preponderantemente alógama, favorecida por mecanismos naturales de autoincompatibilidad y autoesterilidad (17).



**FIGURA 19:** Desenlace floral de la alfalfa: (a) flor cerrada, sin separación de las alas; y (b) flor abierta, con exposición de la columna estaminal.

En condiciones naturales, la polinización de la alfalfa es entomófila y es consecuencia principalmente de la acción de distintas especies de abejas y abejorros. Cuando los insectos acuden a la flor para libar el néctar y/o recolectar el polen, la presión que le ejercen al posarse es suficiente para provocar el desenlace floral, haciendo que la columna estaminal impacte sobre su abdomen. Dado que esos insectos visitan flores de varias plantas en forma sucesiva, su abdomen está siempre cargado de polen de diferentes plantas, lo que asegura la alogamia. Se ha estimado que el 85-95% de las flores desenlazadas son fecundadas por este mecanismo (3).

### Fruto

El fruto de alfalfa es del tipo legumbre o vaina, monocarpelar, seco e indehiscente, generalmente alargado y comprimido, con las semillas alineadas en la hilera ventral. La vaina, por encorvamiento, desarrolla una espiral que generalmente posee 1 espira con autofecundación y 3 a 5 vueltas con fecundación cruzada (1) (Figura 20). La dirección de la espira puede ser dextrógira (en sentido horario) o levógira (en sentido antihorario). Cada fruto contiene un número variable de semillas arriñonadas: 2-3 con autofecundación y alrededor de 9 semillas con fecundación cruzada (1).



**FIGURA 20:** Distintos momentos en la evolución del fruto de la alfalfa, desde poco después de la fecundación de la flor (arriba, izquierda) hasta la vaina madura con varias espiras (abajo, derecha).

### Estadios de madurez de la alfalfa

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 ese contexto, y utilizando principalmente la altura del canopeo y la sucesión de estadios vegetativos y reproductivos, se han establecido cuatro categorías básicas: estado



vegetativo, botón floral, floración y fructificación. Sobre la base de esta categorización, e incluyendo criterios fisiológicos como la dinámica de acumulación y utilización de sustancias de reserva, se concluyó que el 10% de floración es el momento óptimo para la utilización de la alfalfa, compatibilizando la producción de forraje, la calidad y la persistencia.

Sin embargo, Kalu y Fick (11) y Fick y Mueller (4) señalaron que esta clasificación, si bien es una forma simple para determinar el momento óptimo de utilización, no considera los cambios en la calidad que van ocurriendo a través de los distintos períodos de crecimiento. Como la calidad de las pasturas está asociada a los estadios fenológicos de la planta, tanto Kalu y Fick (11) como Sanderson y Wedin (13) sugirieron que el estado fenológico debería utilizarse como predictor de la calidad forrajera, considerando que la expresión de cada estadio morfológico es un resultado de la historia ambiental y fisiológica del cultivo. Fundamentándose en este concepto, Kalu y Fick (11) describieron un método que se basa en la altura, las características y la presencia/ausencia de distintos órganos en los tallos para categorizar los estadios de madurez de la alfalfa. En ese trabajo se definen 10 estadios que comprenden tres estados vegetativos, dos de botón floral, dos de floración y tres de fructificación. Seguidamente, y atendiendo sólo a la evolución morfológica del rebrote de un cultivo de alfalfa ya establecido, se describirán cada uno de esos estadios de madurez.



FIGURA 21: Vista general de un tallo de alfalfa en estadio de madurez 0

nuevas desplegadas en las axilas de las hojas viejas. Esta característica es más visible en la porción media de los tallos (Figura 22).

**Estadio 2 (vegetativo tardío):** la longitud de tallos es mayor a 30 cm y se observan ramificaciones de las yemas axilares (Figura 23). Estas ramificaciones se presentan por lo menos en dos nudos y constan de tres o más hojas.

**B- estado de botón floral:** a partir de aquí comienza la diferenciación de los meristemas reproductivos y se visualizan los botones florales.

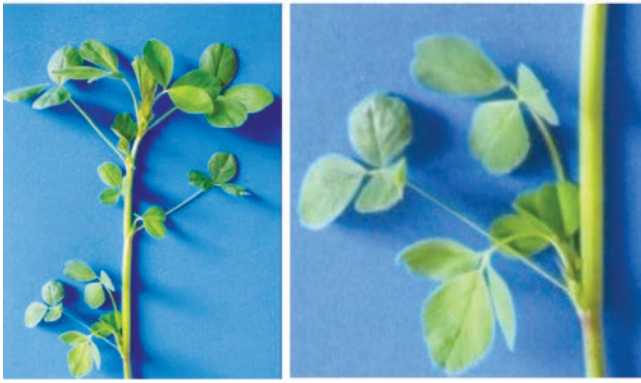
**A- estado vegetativo:** comprende las fases tempranas de desarrollo, en las cuales no se encuentran todavía estructuras reproductivas.

**Estadio 0 (vegetativo temprano):** la altura de los tallos es menor a 15 cm y las yemas axilares no son visibles debido a su escaso desarrollo (Figura 21)

**Estadio 1 (vegetativo medio):** la longitud de los tallos es de 16 a 30 cm y, como consecuencia del desarrollo de las yemas axilares, se observan una a dos hojas



FIGURA 22: Vista general de un rebrote de alfalfa en estadio de madurez 1; y detalle de nuevas hojas a partir de las yemas axilares.



**FIGURA 23:** Vista general de un tallo en estadio de madurez 2; y detalle de una ramificación en una yema axilar.



**FIGURA 24:** Diferenciación morfológica entre un ápice foliar (a) y uno reproductivo (b).

**C- estado de floración:** cuando las condiciones ambientales (fundamentalmente foto y termoperíodo) lo permiten, las flores se abren y se hacen visibles. La floración es la expresión del estado reproductivo de la planta.

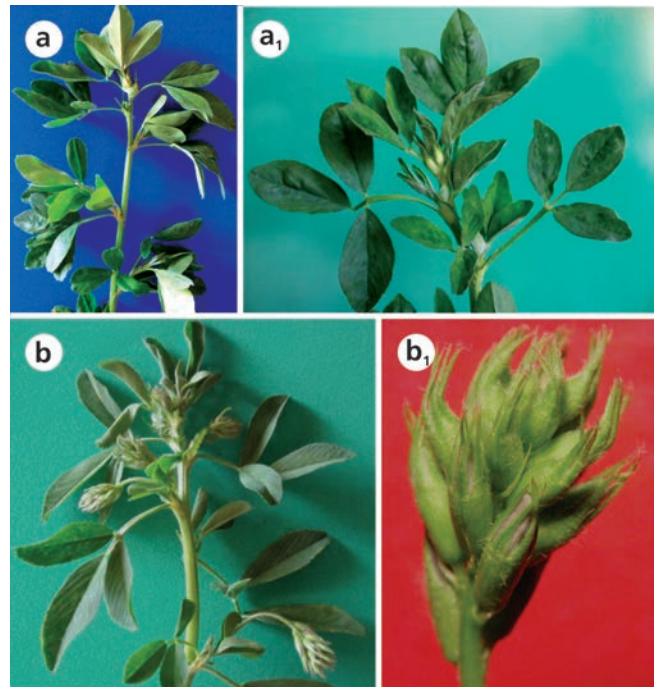
**Estadio 5 (floración temprana):** se observan una o más flores abiertas en el racimo floral de un nudo del tallo. Se considera una flor abierta cuando el estandarte de la flor está desplegado (Figuras 26 a, a<sub>1</sub> y a<sub>2</sub>).

**Estadio 6 (floración tardía):** en un tallo se presentan al menos dos nudos con flores abiertas. Además, a diferencia del anterior, se observa una mayor cantidad de inflorescencias en el tallo (Figuras 26 b, b<sub>1</sub> y b<sub>2</sub>).

Las yemas reproductivas aparecen próximas a los ápices de crecimiento del tallo principal o sus ramificaciones. La proximidad de los primordios florales forma una estructura globosa o globular, fácilmente reconocible al tacto o a la vista. Mientras que los ápices foliares presentan un aspecto plano, el de los reproductivos es redondeado (Figura 24).

**Estadio 3 (botón floral temprano):** las yemas de los botones florales se visualizan sólo en uno o dos nudos (Figuras 25 a y a<sub>1</sub>). Los botones florales, en cada racimo se pueden palpar dado que se encuentran muy próximos entre sí.

**Estadio 4 (botón floral):** tres o más nudos presentan inflorescencias visibles, y se aprecia una clara separación de los botones florales en el racimo (Figuras 25 b y b<sub>1</sub>).



**FIGURA 25:** Vista general (a) y detalle (a<sub>1</sub>) de botones florales tempranos (estadio de madurez 3) y vista general (b) y detalle (b<sub>1</sub>) de botones florales más desarrollados y separados (estadio de madurez 4).





**FIGURA 26:** Estadio 5 o de floración temprana (a, a<sub>1</sub> y a<sub>2</sub>), con flores abiertas en sólo un nudo floral del tallo. Estadio 6 o de floración tardía (b, b<sub>1</sub> y b<sub>2</sub>), con flores abiertas en dos o más nudos florales.



**D-estado de producción de semillas:** obviamente, supone el desarrollo de frutos (vainas) y semillas, que comienza después de la polinización de las flores. Comprende tres estadios de fructificación, que si bien son de interés para determinar el momento de cosecha de semilla, normalmente no se observan cuando la alfalfa es utilizada para la alimentación del ganado.

**Estadio 7 (fructificación temprana):** uno a tres nudos contienen una vaina de reciente formación y de color verde. Como en el caso de los estadios florales, se pueden contar una o más vainas en cada racimo. Mientras las fructificaciones se encuentran principalmente en la porción media del tallo, en las partes apicales aún se observan flores (Figura 27).

**FIGURA 27:** Estadio 7 o de fructificación temprana, con vainas incipientes y no totalmente distinguibles a simple vista. También se observan flores en al tercio superior del tallo.

**Estadio 8 (fructificación tardía):** cuatro o más nudos presentan vainas todavía verdes pero bien formadas y espiraladas. Los tallos más viejos se encuentran muy ramificados y con una baja proporción de hojas (Figura 28).

**Estadio 9 (vainas maduras):** la mayoría de las vainas, ya maduras, viran al color marrón y se secan. La proporción de hojas es muy baja y los tallos son muy fibrosos. Éste es el momento apropiado para la cosecha de semillas (Figura 29).

Es importante señalar que si bien la altura de tallos se emplea para la definición de los estadios vegetativos, su utilización debe hacerse con cautela.

Dado que el grado de crecimiento de las plantas depende fuertemente de las condiciones ambientales en las que se desarrollaron, la altura de los tallos no necesariamente representa su estado de madurez.

En ese contexto, Guzmán y Spada (*comunicación personal*), trabajando en la Región Central de Córdoba, donde frecuentemente se presentan deficiencias hídricas, encontraron sólo una mediana correlación entre altura de planta y estado de madurez. En consecuencia, aunque la altura de planta puede constituir una variable práctica para estimar el grado de madurez del cultivo, debe emplearse con el suficiente criterio para no caer en errores groseros de valoración.



**FIGURA 28:** Estadio 8 o de fructificación tardía, con abundancia de vainas todavía inmaduras pero bien espiraladas, y una baja proporción de hojas en el tallo.



**FIGURA 29:** Estadio 9, donde se aprecia que la mayoría de las vainas ha virado al color marrón, indicando que están próximas a ser cosechadas. Se aprecia una muy baja proporción de hojas, que además son de tamaño reducido.

## Agradecimientos

Las autoras agradecen de manera especial al personal auxiliar de las secciones Malezas, Tecnología de Semillas y Recursos Forrajeros de la EEA Manfredi-INTA por el significativo apoyo brindado para la concreción de este capítulo. También hacen extensivo su reconocimiento a la Biól. Valeria Arolfo por la disposición del material vegetal de invernáculo para la toma de algunas fotografías, y al Ing. Agr. Gustavo Guerra y la Biól. María Cristina Plaza por haber amablemente facilitado el uso de su laboratorio fotográfico en la EEA Manfredi-INTA.

## Bibliografía

- 1- ALFALFA 2005. <http://www.latour.com.ar/alfalfa.htm> (fecha de consulta: 04/01/2005).
- 2- BURKART, A. 1952. Las Leguminosas Argentinas - Silvestres y Cultivadas (2<sup>da</sup> ed.). ACME Agency - Ciencias Biológicas y Agronómicas. Buenos Aires, Argentina, 569 p.
- 3- DEL POZO IBAÑEZ, M. 1977. La Alfalfa, su cultivo y aprovechamiento (2<sup>da</sup> ed.). Ediciones Mundi - Prensa. Madrid, España, 379 p.

- 4- FICK, G. W. and S. C. MUELLER 1989. Alfalfa: quality, maturity, and mean stage of development. Cornell Univ. – Dept. of Agronomy. NY, USA. Inf. Bull. N° 217, 14 p.
- 5- FONT QUER, P. 1989. Diccionario de botánica. Editorial Labor. Barcelona, España, 1244 p.
- 6- GOPLEN, B. P. , H. BAENZIGER, L. D. BAILEY, A. T. H. GROSS, M. R. HANNA, R. MICHAUD, K. W. RICHARDS and J. WADDINGTON. 1980. Growing and managing alfalfa in Canada. Agriculture Canada. Publication 1705. Ottawa, Canada, 50 p.
- 7- GROVE, A. R. (Jr.) y G. E. CARLSON. 1972. Morfología y Anatomía. *In*: C. H. Hanson (ed.) Ciencia y Tecnología de la Alfalfa. Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay. Tomo I, Capítulo 5, pp. 145-166.
- 8- HAYWARD, H. E. 1938. Leguminosae, *Medicago sativa*. *In* *Estructure of economic plants*. MacMillan, New York, USA, pp. 309-338.
- 9- HEINRICH, D. H. 1968. Alfalfa in Canada. Canada Department of Agriculture. Publication 1377. Ottawa, Canada, 28 p.
- 10- JONES, F.R. 1928. Winter injury of alfalfa. *Journal of Agricultural Research* 30: 189-211.
- 11- KALU, B. A. and G. W. FICK. 1981. Quantifying morphological development of alfalfa for studies of herbage quality. *Crop Sci.* 21: 267-271.
- 12- PEREZ DE PEREYRA, A. I. y N. B. AGUILAR ESPINOSA. 2002. Diccionario bilingüe de términos para las ciencias agropecuarias. Español–Inglés e Inglés–Español. Comunicarte. Córdoba, Argentina, 192 p.
- 13- SANDERSON, M.A. and W. F. WEDIN. 1989. Phenological stage and herbage quality relationships in temperate grasses and legumes. *Agronomy Journal*. 81: 864-869.
- 14- SIMONDS, A. O. 1935. Histological studies on the development of the root and crown of alfalfa. *Journal of Science* 9 (4): 641-659.
- 15- STEWART, G. 1926. Alfalfa growing in the United States and Canada. MacMillan, New York, USA.
- 16- TEUBER, L. R. and M. A. BRICK. 1988. Morphology and Anatomy. *In* A.A. Hanson, D. K. Barnes & R. R. Hill, Jr. (ed) *Alfalfa and Alfalfa Improvement*, Chapter 4. Agronomy Series 29, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, pp. 125-162.
- 17- VIANDS, D. R., P. SUAN and D. K. BARNES. 1988. Pollination control : Mechanical and Sterility. *In* A.A. Hanson, D. K. Barnes & R. R. Hill, Jr. (ed) *Alfalfa and Alfalfa Improvement*, Chapter 30. Agronomy Series 29, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, pp. 931-960.

## Uso del agua y la radiación para producción de forraje

*Ing. Agr (Dr.) Daniel Collino*  
INTA IFFIVE (Córdoba)

*Ing. Agr. (M.Sc.) Julio Dardanelli*  
EEA Manfredi-INTA

*Ing. Agr. Marcos De Luca*  
INTA IFFIVE (Córdoba)





## Introducción

En la 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. La provincia de Córdoba es la principal productora de alfalfa pura, en tanto que Buenos Aires es la mayor productora de alfalfa consociada con gramíneas anuales o perennes (Cuadro 1). Como especie pura o consociada, la alfalfa integra el 58% del total de forrajeras de la Región Pampeana (23).

**CUADRO 1:** Superficie (en miles de hectáreas) cultivada con alfalfa pura, alfalfa consociada con otras forrajeras, y total de pasturas en la Región Pampeana. Adaptado de INDEC (23).

Provincia/Región	Alfalfa pura	Alfalfa consociada	Total forrajeras
<b>Total región</b>	1.750	3.232	8.643
<b>Buenos Aires</b>	114	1.909	4.513
<b>Córdoba</b>	1.015	316	1.793
<b>Entre Ríos</b>	54	97	391
<b>La Pampa</b>	222	431	1.000
<b>Santa Fe</b>	345	479	947

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 del INTA, fluctuaron entre 8 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en Anguil y 20,5 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en Marcos Juárez (31, 32, 33, 34). Los valores extremos para una campaña fueron de 5 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (29) y 28,4 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (32). 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. Para un determinado ambiente, se puede establecer el rendimiento potencial del cultivo como respuesta al uso óptimo de la oferta de radiación con agua no limitante, y el rendimiento posible ante limitaciones de agua en sistemas de secano. En ambos casos se considerará una producción sin incidencia de malezas, plagas o enfermedades. 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.

En el presente capítulo se analizarán los factores limitantes para la captura y el uso eficiente de los recursos agua y radiación, así como también sus interacciones, dentro del rango de temperaturas que se registran en la Región Pampeana.

## Rendimiento potencial de forraje

### Radiación, fotoperíodo y temperatura

Se define como rendimiento potencial de forraje, en un determinado ambiente, a aquel que se puede obtener sin limitantes bióticas y abióticas controlables (plagas, enfermedades, deficiencias de nutrientes y agua, etc.), pero bajo las condiciones de radiación, fotoperíodo y temperatura de ese ambiente. En este caso, la producción de forraje depende de (i) la cantidad de radiación que el cultivo sea capaz de interceptar, y (ii) la eficiencia con que utilice dicha radiación para generar materia seca aérea (hojas y tallos). Esta eficiencia puede disminuir por temperaturas limitantes para la fotosíntesis y por condiciones que favorezcan la acumulación de carbohidratos en estructuras de reserva: corona y porción superior de las raíces (22). En la Región Pampeana, la radiación solar que incide sobre el cultivo posee escasa variación entre localidades, fluctuando entre 15 y 17 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> como valor medio anual. Por el contrario, a lo largo del año la radiación tiene una elevada variación, con valores de 6-10 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> en junio a 22-24 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> en diciembre (8). En la Figura 1 se presentan los valores mensuales de radiación para algunas localidades representativas de la región. Como se observa, las variaciones de cada localidad dentro del año son más importantes que las diferencias entre localidades en cualquier época del año. Esta variación dentro del año se traduce en diferentes tasas de crecimiento del cultivo. Por ejemplo, López y col. (25), para un cultivo de alfalfa bajo riego en Córdoba, encontraron valores extremos de tasas de crecimiento de 40 y 125 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> para invierno y primavera, respectivamente.

De la radiación solar incidente, el cultivo utiliza aproximadamente un 50% (26), que corresponde a aquellas longitudes de onda que absorben los pigmentos fotosintéticos. Esta fracción de la radiación solar se conoce como radiación fotosintéticamente activa (*RFA*). A su vez, del total de la *RFA* incidente, sólo se utiliza para la producción de forraje la fracción interceptada (*f*). De tal manera, la *RFA* interceptada (*RFA<sub>i</sub>*), se calcula como:

$$RFA_i = f * RFA$$

En consecuencia, la *RFA<sub>i</sub>* representa la radiación capturada por el cultivo con la cual puede generar materia seca (*MS*). La cantidad de *MS* que el cultivo es capaz de producir depende de la eficiencia en el uso de la radiación (*EUR*). La *EUR* se define como el cociente entre la *MS* producida (g m<sup>-2</sup>), y la *RFA<sub>i</sub>* (MJ m<sup>-2</sup>), por lo cual normalmente la *EUR* se expresa en g MJ<sup>-1</sup>.

Por lo tanto, la producción de *MS* se puede calcular como  $MS = RFA_i \times EUR$

Collino y col. (8) determinaron que la *EUR* de la variedad Victoria SP INTA en Córdoba

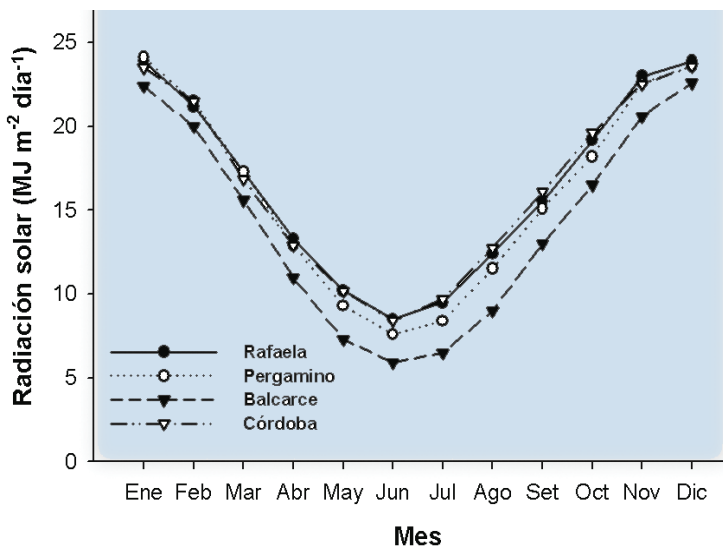
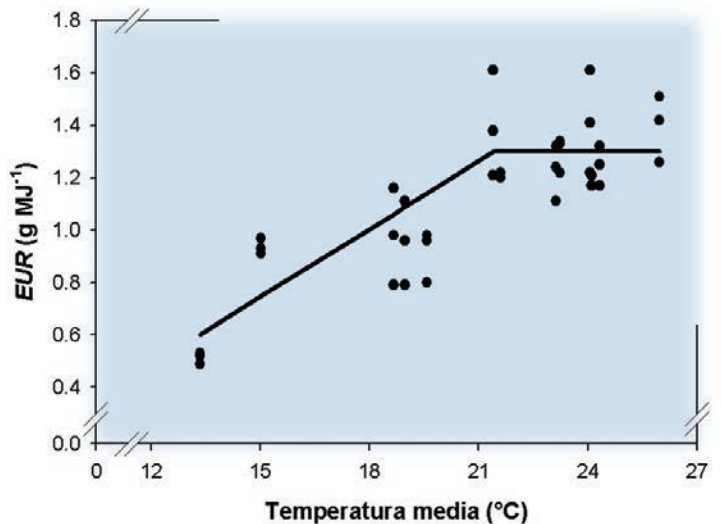


FIGURA 1: Valores mensuales promedio de radiación solar para algunas localidades de la Región Pampeana.

fluctuó entre 0,6 y 1,3 g MJ<sup>-1</sup>. Este amplio rango de *EUR* es consecuencia de las variaciones de temperatura a lo largo del año, las cuales pueden ser óptimas o subóptimas. En ese sentido, el trabajo demostró que la *EUR* decrece linealmente por debajo de los 21,3°C, pero que se estabiliza con un valor máximo de 1,3 g MJ<sup>-1</sup> a un rango de temperaturas medias óptimas de 21,3 a 26° C (Figura 2).

La dispersión de los datos que se observa en la Figura 2 se debe, entre otros factores, a que la función de ajuste no captura el efecto de la acumulación y removilización de asimilados en la corona y parte superior del sistema radical. Este proceso, que se produce con diferente intensidad según el grado de reposo invernal de las distintas variedades, afecta la distribución estacional de la *MS* pero no la producción anual de forraje (25).

Como se puede observar en el Cuadro 2, la *EUR* es mayor en primavera que en verano, porque – a pesar de que ambas estaciones presentan temperaturas favorables– el forraje producido en primavera resulta de la suma de los fotosintatos generados a partir de la radiación interceptada y de aquéllos provenientes de la removilización desde la corona y la raíz. Por lo contrario, en otoño e invierno, los bajos valores de *EUR* son consecuencia de limitaciones en temperatura y de movilización de fotoasimilados desde las hojas hacia los órganos de reserva. Este proceso de almacenamiento y removilización de asimilados es más notorio en la variedad Victoria SP INTA (GRI 6 o reposo intermedio) que en Monarca SP INTA (GRI 8 o sin reposo) (3, 25).



**FIGURA 2** - Eficiencia en el uso de la radiación (*EUR*) en función de la temperatura media. Se muestran las líneas de ajuste para el rango de temperaturas óptimas y subóptimas. Adaptado de Collino y col. (8)

**CUADRO 2**- Producción estacional de materia seca (*MS*), radiación fotosintéticamente activa incidente (*RFA<sub>i</sub>*), temperatura media (*T<sub>med</sub>*), y eficiencia en el uso de la radiación incidente (*EUR<sub>inc</sub>*), para las variedades Victoria SP INTA y Monarca SP INTA. Ensayo bajo riego conducido en Córdoba durante el período 1993-1996 (25).

Estación	MS (g m <sup>-2</sup> )		RFA <sub>i</sub> MJ m <sup>-2</sup>	T <sub>med</sub> °C	EUR <sub>inc</sub> (g MJ <sup>-1</sup> )	
	Victoria SP INTA	Monarca SP INTA			Victoria SP INTA	Monarca SP INTA
Otoño	414		511	15,8	0,812	
Invierno	327	412	526	12,7	0,622	0,783
Primavera	1.171	1.095	918	20,1	1,28	1,19
Verano	920		919	22,8	1,00	

La relación *EUR*/temperatura media descrita para alfalfa es diferente a la observada en cultivos anuales, donde en general se puede asumir una *EUR* aproximadamente constante, dado que el ciclo de un cultivo anual se desarrolla bajo rangos de temperatura que no modifican sustancialmente la *EUR*. La alfalfa está sometida a importantes variaciones de temperatura dentro del año, de manera similar a lo comentado anteriormente para radiación solar. En la Figura 3 se puede observar que la temperatura media anual de localidades representativas de la Región Pampeana varía entre los 8-12°C en julio y 20-25°C en enero (21). Además, se aprecia que en Rafaela, Córdoba y Pergamino la mayor parte del ciclo de crecimiento se realiza con temperaturas subóptimas, mientras que en Balcarce todo el ciclo tiene lugar por debajo del umbral crítico para *EUR*.

El ya mencionado valor 1,3 g MJ<sup>-1</sup> como máxima *EUR* encontrado en Córdoba, es bastante inferior a los 1,70-1,75 g MJ<sup>-1</sup> obtenidos por Duru y Langlet (15) y Gosse y col. (19) en experimentos de corte realizados en Francia. Tales discrepancias podrían atribuirse a distintos factores como variedad, regímenes de radiación y temperatura, proporción de radiación directa y difusa, y diferencias en la partición entre follaje y órganos de almacenamiento (corona y raíces). Estos diferentes valores de *EUR* resaltan la importancia de obtener estimaciones locales en alfalfa.

Aplicando los parámetros del modelo presentado en la Figura 2, que relaciona la *EUR* con la temperatura media, a datos de radiación solar y temperatura de Córdoba (serie 1984-1999), se puede estimar una producción potencial promedio de *MS* de 30,5 tn ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con valores máximos de 32 tn *MS* ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en años con condiciones favorables. Esta producción potencial de referencia se calcula asumiendo que el cultivo está siempre interceptando radiación, es decir con una cobertura completa y permanente del suelo. Estos valores son teóricos, dado que ningún cultivo –aún en las mejores condiciones de manejo– podría interceptar toda la radiación incidente en forma permanente; pero sirve al menos como valor comparativo entre distintos ambientes. En el ya comentado trabajo de López y col. (25), se obtuvo en Córdoba y bajo riego una producción de 28,3 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para las variedades Victoria SP INTA y Monarca SP INTA. Aún reconociendo las limitaciones que implica extrapolar el modelo obtenido a otras localidades de la región, se pueden observar variaciones importantes en las producciones potenciales de referencia para la variedad Victoria SP INTA, con valores de 31,2 tn *MS* ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en Rafaela, 28,0 tn *MS* ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en Pergamino, y 19,9 tn *MS* ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en Balcarce. Rafaela y Córdoba tienen regímenes similares de radiación (Figura 1), pero en Rafaela las temperaturas son más elevadas, y por lo tanto más favorables (Figura 3).

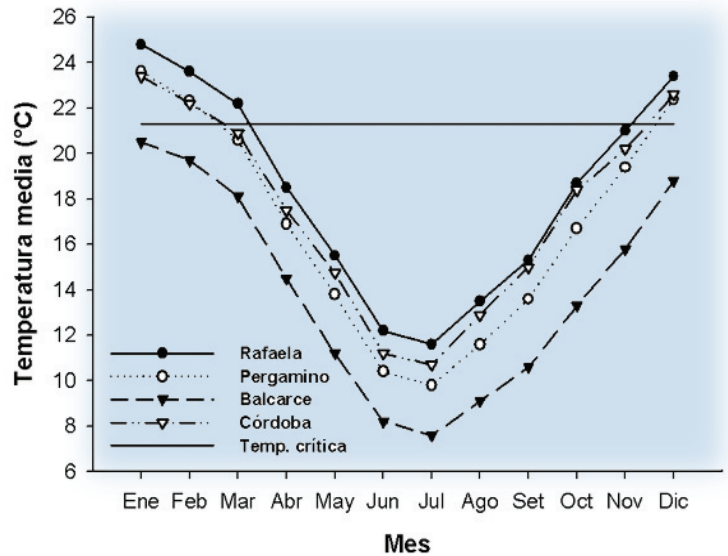
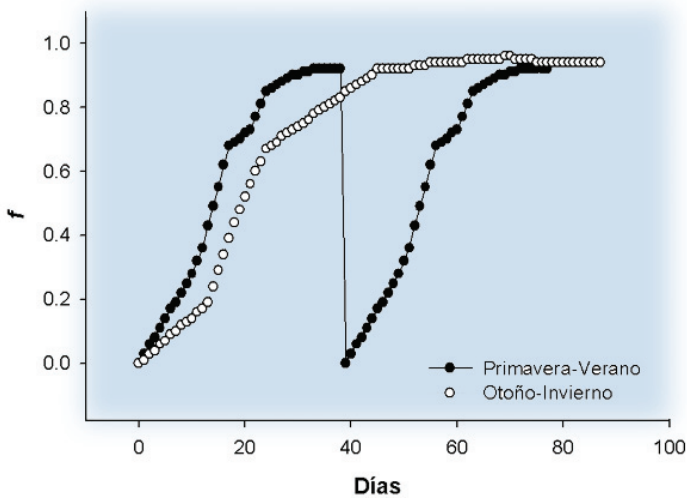
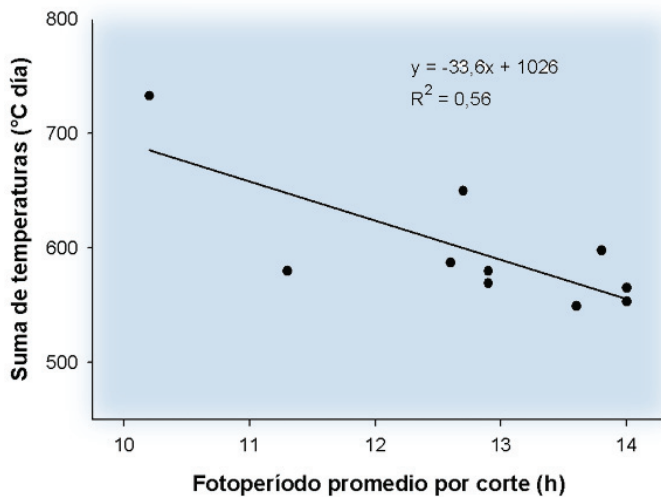


FIGURA 3 - Valores mensuales de temperatura media para algunas localidades de la Región Pampeana. La línea recta señala el valor crítico de temperatura para la *EUR* (21,3°C).



**FIGURA 4** - Evolución de la fracción de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa ( $f$ ), en cortes de primavera-verano y de otoño-invierno. Adaptado de Collino et. al. (8).

la intercepción de la radiación, que al ser de menor magnitud pero de mayor frecuencia, resultan en mayores pérdidas totales de intercepción para períodos de tiempo similares. La mayor frecuencia de cortes en primavera-verano es consecuencia principalmente de la mayor temperatura, combinada con un efecto fotoperiódico. La alfalfa es una especie cuantitativa de día largo, que tiende a florecer más rápidamente con fotoperíodos largos (17); por lo tanto, durante los períodos del año con días más cortos, requiere mayores sumas térmicas para llegar al momento de corte.



**FIGURA 5** - Suma de temperaturas (temperatura base = 5°C), para períodos entre cortes, en función del fotoperíodo. Adaptado de Collino y col. (8).

En efecto, y a partir de datos reprocesados de Collino y col. (8), se observa que la variedad Victoria SP INTA requiere acumular 33,6° C día adicionales, sobre una temperatura base de 5°C (17), por cada hora de disminución en el fotoperíodo (Figura 5).

Un cultivo sometido a cortes deja de interceptar parte de la *RFA* desde el momento del corte hasta que recupera completamente la cobertura. Dado que la tasa de expansión de las hojas es mayor a temperaturas más elevadas, la recuperación de la máxima fracción de intercepción ( $f$ ) es más rápida en primavera-verano que en otoño-invierno (Figura 4).

En primavera-verano debe tenerse en cuenta que, además de una pérdida porcentual de radiación más elevada, ésta es de mayor magnitud en términos diarios y que el cultivo podría convertirla en *MS* más eficientemente; por lo tanto, la baja densidad de plantas y la desuniformidad del cultivo tendrán efectos más perjudiciales en esta época del año.

En la Región Pampeana se han obtenido producciones anuales en forraje que indican una adecuada captura de radiación bajo condiciones ambientales favorables. Este es el caso de los rendimientos de 28 tn *MS* ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> obtenidos en Córdoba (25) y en Marcos Juárez (32, 35) para las variedades Monarca SP INTA y Victoria SP INTA, y de las 29 tn *MS* ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> registrados en Hilario Ascasubi (Bs. As.) (35).



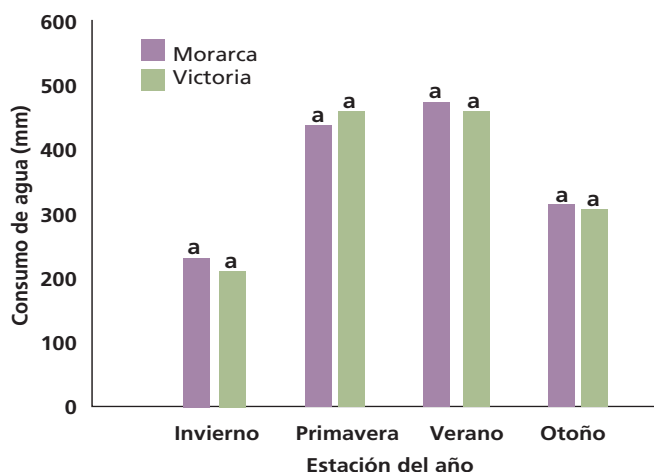
## Consumo de agua

La producción potencial de forraje requiere de una disponibilidad no limitante de agua para satisfacer la transpiración del cultivo. La alfalfa, como cultivo perenne, 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. El consumo de agua medido en las variedades Monarca SP INTA y Victoria SP INTA, en un ensayo sin limitaciones hídricas conducido en Córdoba, fue muy similar para ambas y alcanzó durante tres campañas los 1464 mm año<sup>-1</sup>, para un rendimiento de forraje del orden de 28 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (25). Es de hacer notar que este consumo máximo se logró no sólo con un suficiente suministro de agua sino con una adecuada densidad de plantas. En otro ensayo también bajo riego, Collino y col. (8) midieron para la variedad Victoria SP INTA un consumo de agua de sólo 1102 mm anuales, atribuyendo la diferencia con el estudio anterior a una densidad subóptima de plantas. Ese menor consumo se vio reflejado en una menor producción de forraje, que fue de 17 tn MS ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, sensiblemente menor a las 28 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> citadas precedentemente. Es interesante destacar que aun perteneciendo a diferentes tipos de reposo invernal, las variedades Monarca SP INTA y Victoria SP INTA presentan el mismo patrón de distribución estacional de consumo de agua (Figura 6), sin diferencias significativas entre ellas. Analizando en conjunto la Figura 6 y el Cuadro 2, se puede observar que aunque el consumo hídrico de las dos variedades en cada estación es similar, la producción de materia seca es diferente en invierno y primavera; vale decir que el grado de latencia 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.

El consumo potencial de 1464 mm año<sup>-1</sup> registrado en Córdoba representa el 90% de la evapotranspiración potencial de referencia calculada por la fórmula de Penman-FAO (2). Si se asume que esta proporción se mantiene constante en toda la Región Pampeana, se puede estimar que las necesidades de agua entre las diferentes localidades varían desde un valor máximo de 1.550 mm en Paraná a uno mínimo de 1100 mm en Balcarce. Esos valores de consumo potencial del cultivo están dentro del rango de 400-1800 mm mencionado por Dorenboos y Kassam (14) y Sheaffer y col. (30).

Las variaciones entre localidades en el consumo potencial anual de agua del cultivo se deben a las diferencias en la demanda atmosférica. Esta a su vez está integrada por dos componentes: el componente radiativo, que depende principalmente de la radiación solar (factor que está directamente relacionado con la generación de *MS*), y el componente advectivo, relacionado con la sequedad del aire, que está influenciado por la temperatura y la humedad relativa. 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. Habitualmente, no se conoce cuál es la proporción de agua de la evapotranspiración que se pierde por transpiración y por evaporación desde la superficie del suelo. Por lo tanto, en este capítulo utilizaremos el término *EUA* como el cociente *MS*/agua evapotranspirada o consumida (*C*), expresado en kg mm<sup>-1</sup>. En consecuencia, la producción de *MS* se puede calcular como:

$$MS = C \times EUA$$



**FIGURA 6** - Consumo de agua en las diferentes estaciones del año, de las variedades Monarca SP INTA y Victoria SP INTA, conducidas en un ensayo sin limitaciones de agua. Adaptado de López y col. (25). Letras distintas indican diferencias significativas entre variedades ( $p < 0,05$ ), dentro de cada estación del año.

transpiración de la alfalfa y a evaporación desde el suelo, no ha sido estimada. Sin embargo, la información disponible sobre cultivos anuales puede dar alguna orientación para estimar esta partición del consumo de agua, considerando que los períodos entre cortes pueden asimilarse a una sucesión de cultivos anuales. En trigo, la proporción de evaporación respecto de consumo (C) varía desde 11% (6) hasta 56% (37). La pérdida por evaporación depende de factores que no pueden ser modificados, como la distribución de las lluvias, y de otros que pueden ser modificados, como el régimen de riego y la cantidad de plantas por unidad de superficie. Como ya fuera comentado, la distinta densidad de plantas en ensayos del cv Victoria SP INTA conducidos en Córdoba bajo riego causó diferencias en la producción anual de MS, el C y la EUA.

Con una adecuada población de plantas ( $> 250 \text{ pl m}^{-2}$  al término del primer año), se produjeron  $28,3 \text{ tn MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de MS y se consumieron  $1464 \text{ mm}$  de agua, con una EUA de  $18,6 \text{ kg mm}^{-1}$  (25). Con una densidad de plantas significativamente menor, se obtuvieron  $17,1 \text{ tn MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , con un consumo de  $1101 \text{ mm}$  y una EUA de  $15,5 \text{ kg mm}^{-1}$  (8). Esta disminución de la EUA bajo condiciones ambientales similares puede ser atribuida principalmente a una mayor proporción de agua evaporada desde el suelo.

Cuando la disponibilidad de agua no es limitante, la EUA a lo largo de una campaña presenta una importante variación entre cortes. En Córdoba, López y col. (25) encontraron que la EUA para las variedades Victoria SP INTA y Monarca SP INTA varió entre  $12,9$  y  $25,4 \text{ kg mm}^{-1}$ , mientras que Collino y col. (8) encontraron para el cv Victoria SP INTA un rango de  $9$  a  $23,9 \text{ kg mm}^{-1}$ . En Texas (EE.UU.), Bolger and Matches (4), encontraron que la EUA entre cortes varió desde  $11,9$  hasta  $29,1 \text{ kg mm}^{-1}$ . Una de las razones de esta variabilidad es el diferente grado de sequedad del aire a lo largo del año, que -juntamente con otras variables meteorológicas- modifica la demanda transpiratoria. Las plantas transpiran a través de los estomas, como respuesta a una demanda atmosférica condicionada por la radiación solar y la sequedad del aire. 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. Este grado de sequedad del aire depende de la combinación de temperatura y humedad relativa, y se expresa a través de una variable conocida como déficit de presión de vapor (DPV). Tanner and Sinclair (36) esta-

La EUA puede ser modificada por una serie de factores. Entre ellos podemos mencionar 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 (20), a partir de una revisión general y considerando cortes individuales, menciona una amplia variación de EUA, con un rango de valores de  $6$  a  $30 \text{ kg mm}^{-1}$ . Seguidamente, se intentará desagregar esta variabilidad analizando por separado cada factor que la genera.

En la Región Pampeana, la proporción de agua consumida destinada a

blecieron que el *DPV* puede explicar variaciones en *EUA* para un mismo cultivo en diferentes ambientes. Abbate y col. (1) han demostrado que en trigo cultivado en la Región Pampeana la *EUA* transpirada se relaciona con el *DPV*, tal como se representa en la Figura 7. Se puede observar que en el mejor de los casos (Balcarce), por cada mm de agua transpirada se producen 70 kg MS ha<sup>-1</sup>, mientras que en el peor de los casos (Córdoba), sólo se obtienen 30 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Este apreciable contraste en la *EUA* se puede atribuir principalmente a la diferencia en la sequedad del aire entre ambas localidades.

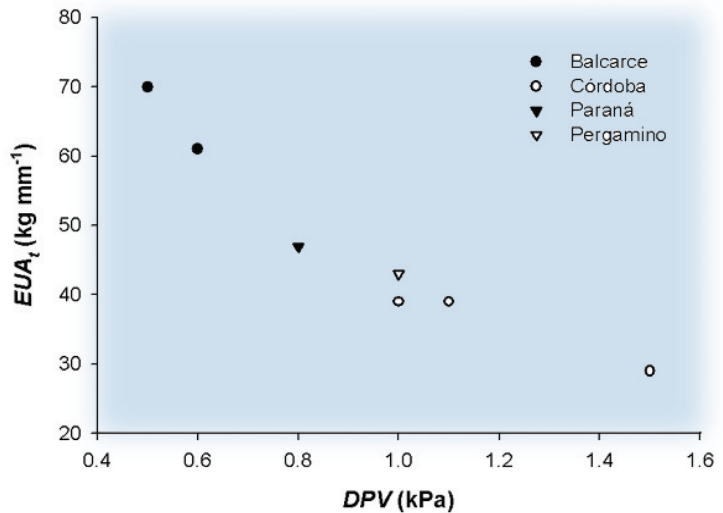


FIGURA 7 - Relación entre la eficiencia en el uso del agua transpirada en trigo (*EUA<sub>t</sub>*) y el déficit de presión de vapor (*DPV*), en diferentes localidades de la Región Pampeana. Adaptado de Abbate y col. (1).

La variación entre localidades de la *EUA* en función del *DPV* puede darse también en una misma localidad a lo largo del año. Por ejemplo, Collino y col. (8) encontraron que el *DPV* diurno entre cortes de alfalfa varió entre 0,88 y 2,03 kPa. De acuerdo a lo discutido previamente en trigo, se podría esperar que la *EUA* de la alfalfa aumentara al disminuir el *DPV*. Sin embargo, este comportamiento no fue observado, como se puede apreciar en la Figura 8.

La falta de relación entre *EUA* y *DPV* en este último estudio se debió probablemente a que los valores más bajos de *DPV* ocurrieron en las épocas del año con las menores temperaturas. Como se discutiera anteriormente, temperaturas por debajo de 21,3° C afectan la fotosíntesis, y reducen la *EUR*. Es de esperar entonces que la *EUA* también resulte limitada por las bajas temperaturas dado que éstas, al restringir la fotosíntesis, también afectarían negativamente la relación *MS/C*. Esto fue precisamente lo observado por Collino y col. (8), quienes demostraron que la relación entre *EUA* y temperatura (Figura 9) fue similar a la encontrada para la relación *EUR* y temperatura media (Figura 2). La temperatura crítica para la *EUA* fue de 21,9° C, similar a la encontrada para la *EUR* (21,3° C).

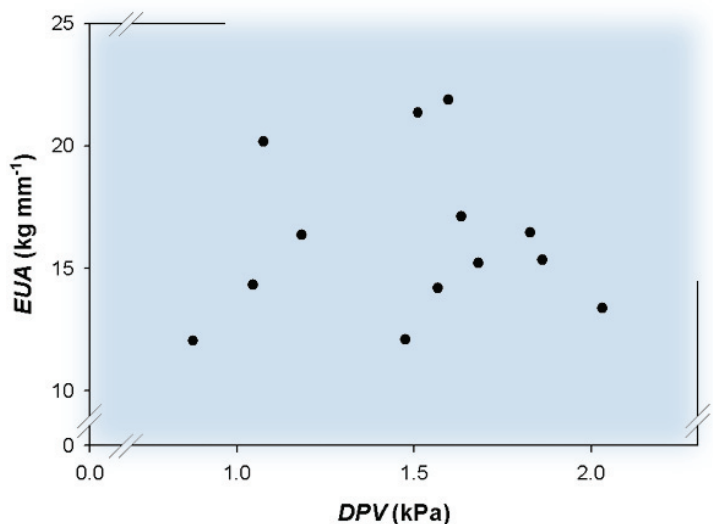
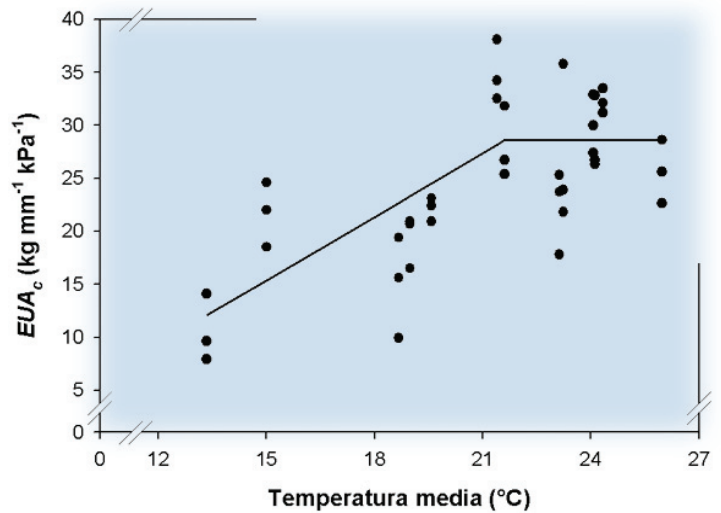


FIGURA 8 - Relación entre la eficiencia en el uso del agua (*EUA*) en alfalfa y el déficit de presión de vapor (*DPV*), en Córdoba. Adaptado de Collino y col. (8).

La dispersión de los datos que se observa en la Figura 9 es causada por los mismos factores discutidos para la *EUR*, es decir que

la función de ajuste no captura el efecto de la acumulación y removilización de asimilados en la corona y la parte superior del sistema radical. Este proceso se produce con diferente intensidad en las distintas variedades, según el grado de reposo invernal de las variedades consideradas, afectando la distribución estacional de la MS pero no la producción anual de forraje (25). Como se puede observar en el Cuadro 3, 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



**FIGURA 9** - Relación entre la eficiencia en el uso del agua corregida por el déficit de presión de vapor (*EUA<sub>c</sub>*) en alfalfa y la temperatura media. Adaptado de Collino y col. (8).

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).

**CUADRO 3** - Producción estacional de materia seca (MS), consumo de agua (C), temperatura media (Tmed), eficiencia en el uso del agua (*EUA*), para las variedades Victoria SP INTA y Monarca SP INTA. También se indica la eficiencia en el uso del agua corregida por déficit de presión de vapor (*EUA<sub>c</sub>*). Adaptado de López y col. (25).

Estación	MS (kg ha <sup>-1</sup> )		C mm	Tmed °C	EUA		EUA <sub>c</sub>	
	Victoria SP INTA	Monarca SP INTA			Victoria SP INTA	Monarca SP INTA	Victoria SP INTA	Monarca SP INTA
Otoño	4.146		317	15,8	13,1		11,3	
Invierno	3.274	4.121	224	12,7	14,6	18,4	15,6	19,7
Primavera	11.713	10.954	454	20,1	25,8	24,1	45,1	42,2
Verano	9.202		470	22,8	19,6		29,8	

## Producción de forraje en secano

En la Región Pampeana, la disponibilidad de agua es el principal factor limitante para la producción de forraje en secano. En cultivos anuales, el agua almacenada hasta el momento de la siembra tiene un peso relativo importante respecto del agua de lluvia recibida durante el ciclo. En un cultivo perenne como la alfalfa, cuya duración promedio en buenas condiciones de manejo es de 4 años (29), el agua almacenada en el suelo sólo tiene una influencia relevante durante el primer año de vida. Por lo tanto, la principal

fuerza de suministro de agua para el cultivo, considerando su ciclo en conjunto, es la lluvia. En algunos casos, habrá que considerar también el aporte de la napa freática, en particular porque el sistema radical de la alfalfa puede alcanzar profundidades de hasta 6 m a partir del segundo año de implantación (5).

Para caracterizar la oferta de agua de lluvia es necesario tener en cuenta no sólo la cantidad anual y su distribución estacional, sino además su variabilidad. Las lluvias en la Región Pampeana (período 1910-1980) oscilan entre 600 y 1.000 mm anuales, con un patrón de decrecimiento de Este a Oeste en el norte de esta región, mientras que en el Sur las lluvias decrecen en el sentido Norte-Sur. La disminución de las lluvias en las áreas mencionadas es de 50 a 75 mm anuales por grado de longitud o latitud, respectivamente. Dentro del año, el patrón de distribución de las lluvias en la región cambia de monzónico en el Noroeste (lluvias predominantes en verano), a isohigro en el Sudeste (lluvias distribuidas en todas las estaciones) (21). Sin embargo, en todos los casos, las mayores precipitaciones se producen entre diciembre y marzo, y las menores entre julio y agosto. Los coeficientes de variación (CV), que expresan la variabilidad interanual de las precipitaciones, están en relación inversa con las medias anuales, aumentando de 18% en Pergamino (944 mm anuales) a 28% en Anguil (616 mm anuales). Para el conjunto de la región, los CV exceden el 15%, que es un límite que puede ser utilizado para discriminar entre los regímenes de lluvia estables y variables (21). En relación con las estaciones del año, el CV es superior al 36%, con valores máximos superiores al 60% en invierno y otoño. Por lo tanto, la variabilidad interanual e intraanual en la producción de forraje es un elemento poco controlable que debe ser tenido en cuenta en un planteo de manejo del cultivo.

Por otro lado, debe considerarse que en la región se presentan situaciones en que la influencia de la napa freática incrementa los rendimientos anuales y disminuye su CV. Si bien es difícil establecer con precisión el aporte de la napa, se pueden encontrar evidencias de su contribución a partir de la comparación de rendimientos. Un ejemplo de lo expresado surge de comparar la producción obtenida durante varios años en ensayos comparativos de rendimiento en dos localidades, y para las variedades Monarca SP INTA y Victoria SP INTA. En Anguil, con 741 mm de precipitación anual como promedio de la serie 1971-2003, se puede esperar una producción de forraje cercana a las 7,3 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con un CV del 34%. En Marcos Juárez, con una media histórica de 915 mm anuales, la producción esperable ronda las 22,2 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con un CV de 23%. Aún teniendo en cuenta las diferencias entre ambas localidades en cuanto a fertilidad de suelos, régimen térmico y longitud de la estación de crecimiento, resulta evidente que la influencia de la napa freática en Marcos Juárez explica la mayor parte de su significativo mayor rendimiento. En efecto, si se calcula el cociente rendimiento/precipitación anual, se obtienen valores de 24,3 y 8,0 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para Marcos Juárez y Anguil, respectivamente. Gracias al aporte de la napa freática, los rendimientos de Marcos Juárez superan en un 200% a los de Anguil, aunque las precipitaciones anuales en Marcos Juárez son sólo 23% superiores.

En el análisis que se realizó previamente, se asumió que toda la lluvia caída infiltra en el suelo. Sin embargo, esta suposición no es válida en la mayor parte de la región, donde una fracción de la precipitación se pierde por escurrimiento superficial. Por lo tanto, sólo ingresa en el suelo una proporción de la lluvia caída que se conoce como precipitación efectiva ( $P_{ef}$ ). La  $P_{ef}$  depende de la cantidad e intensidad de la lluvia, la textura del suelo, la pendiente del lote, la cobertura de rastrojos, etc.; en consecuencia, al depender de varios factores constituye otra causa de variabilidad en la disponibilidad



de agua para el cultivo. La mayoría de los suelos pampeanos tiene una elevada proporción de limo en el horizonte superficial (21), lo cual los predispone al encostramiento (18). Esta característica superficial induce menores tasas de infiltración, que a su vez favorecen una mayor escorrentía. Dardanelli y col. (9), en un suelo con horizonte superficial de textura franco-limosa y bajo un sistema de labranza reducida con rastros en superficie, encontraron que la relación entre la  $P_{ef}$  y la precipitación diaria, para lluvias superiores a 15 mm, se puede representar por la siguiente ecuación:

$$P_{ef} = 2,43 * P_r^{0,667}$$

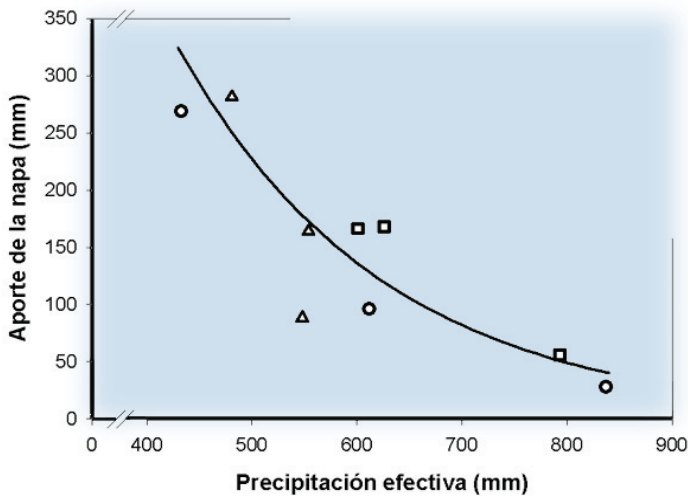
donde  $P_r$  es la precipitación diaria.

Si se asume que la condición superficial generada por este sistema de labranza es aplicable a un suelo cubierto con alfalfa, y se utiliza la ecuación anterior con datos provenientes de ensayos conducidos en Anguil, Manfredi, General Villegas, Rafaela y Barrow por Racca y col. (28), se puede estimar que aproximadamente el 20% de las precipitaciones anuales se pierden por escorrentía. En ese contexto, y considerando que a partir de 1970 los valores de precipitación anual para la Región Pampeana varían entre 740 mm (Anguil) y 1.120 mm (Paraná), se concluye que la  $P_{ef}$  en la región se encuentra comprendida entre 600 y 1000 mm anuales.

A diferencia de las lluvias, que por su elevada variabilidad generan una importante inestabilidad en la producción de MS, la presencia de napas freáticas tiende a elevar y estabilizar la producción de forraje entre años. Racca y col. (28) observaron que en Rafaela, Manfredi y General Villegas, en años con presencia de napa freática al alcance de las raíces, el rendimiento promedio para las tres localidades fue de 17 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (CV=10%), superando la media de 12 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (CV=14%) obtenida en años sin aporte de napa freática al cultivo. Las  $P_{ef}$  anuales promedio, calculadas en la forma descrita anteriormente y considerando los años con aporte y sin él de napa freática, fueron de 641 y 623 mm, respectivamente. Ésta es otra evidencia clara de la contribución de la napa al incremento y estabilidad de los rendimientos de la alfalfa.

Dardanelli y Collino (11), en ensayos realizados con las variedades Monarca SP INTA y Victoria SP INTA, estimaron que la contribución de la napa freática al total de agua consumida durante todo el período de crecimiento (cuatro campañas) fluctuó entre 15 y 25%. Estos aportes de agua no tuvieron relación con la profundidad de la napa en el rango estudiado (2,25-6 m), confirmando la capacidad del sistema radical del cultivo de capturar agua en profundidad. En este estudio se demostró que dichos aportes fueron muy variables (CV=62%), y que en ciertas campañas no ocurrieron porque la napa quedó fuera del alcance del sistema radical. Es interesante hacer notar que, al menos dentro del rango de profundidades estudiadas en este trabajo, la contribución anual de la napa estuvo estrechamente relacionada con la  $P_{ef}$ . A medida que disminuye la  $P_{ef}$ , y por consiguiente el año es más seco, la alfalfa consume mayor cantidad de agua de la napa freática (Figura 10).

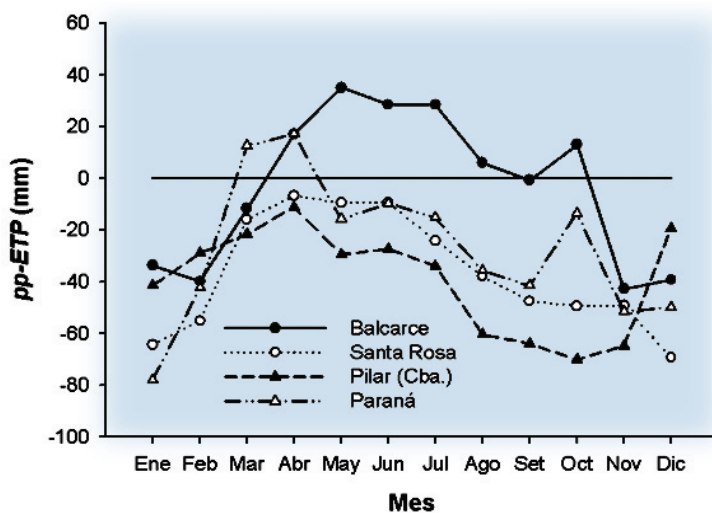
En el mismo trabajo se señala que, aún con aporte de agua de la napa, el cultivo no pudo satisfacer completamente sus necesidades de agua. El consumo potencial de agua del cultivo pasó de ser satisfecho en 45% cuando no hubo influencia de la napa, al 56% cuando hubo aporte de la napa. Esta escasa contribución probablemente se deba a que la napa provee agua a una porción reducida de raíces, y en un cultivo perenne como la alfalfa, el consumo permanente de agua, por parte del sistema radical, no permite un ascenso capilar hacia capas más superficiales de suelo.



**FIGURA 10** - Relación entre el aporte de la napa al consumo total de agua de la alfalfa y la precipitación efectiva anual. Adaptado de Dardanelli y Collino (11).

Es importante tener en cuenta que la diferencia *pp-ETP* debe tomarse sólo a los fines comparativos, ya que el consumo potencial de la alfalfa supera ampliamente a la *ETP* calculada por este procedimiento. En Córdoba, por ejemplo, el consumo potencial del cultivo bajo corte es un 23% mayor que la *ETP* según Penman (27).

Las dos localidades ubicadas en la zona más seca de la Región Pampeana (Santa Rosa, La Pampa, y Pilar, Córdoba) presentan condiciones deficitarias a lo largo de todo el año, siendo el período más crítico en Pilar la salida del invierno y la primavera, y en Santa Rosa la primavera-verano. En Paraná, localidad ubicada en la zona húmeda, se presentan deficiencias importantes en verano y algo menores hacia la finalización del invierno. Las condiciones hídricas son más favorables en Balcarce, con déficit marcados sólo en verano. Considerando a la región en conjunto, se aprecia que –a excepción de las zonas este y sudeste- la diferencia entre precipitación y *ETP* normal durante el período abril-octubre es negativa, particularmente en la zona noroeste (Figura 12A).



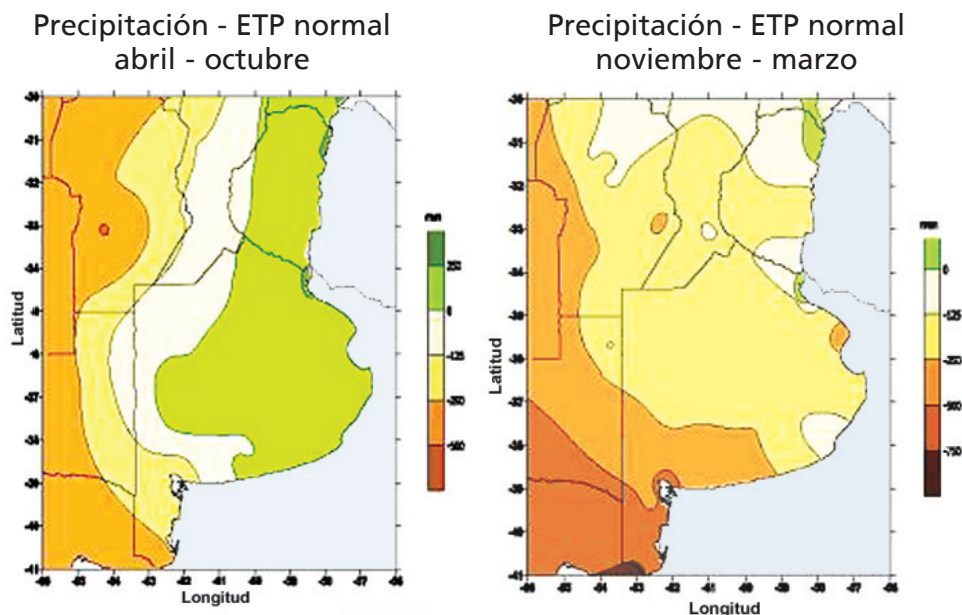
**FIGURA 11:** Diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial de Penman (27) (*pp-ETP*), para algunas localidades de la Región Pampeana.

En la Región Pampeana, la producción de alfalfa –salvo excepciones- está limitada por restricciones al consumo de agua, aun con presencia de napa freática. El cultivo, especialmente al oeste y sudoeste de la región, suele experimentar períodos prolongados de deficiencias hídricas, que se reflejan en la diferencia entre la precipitación mensual y la evapotranspiración potencial (*pp-ETP*), esta última calculada con la fórmula de Penman (27). Tal como se observa en la Figura 11, la diferencia *pp-ETP* muestra para diferentes localidades de la región valores negativos casi todo el año, excepto en Balcarce.

si se considera el período noviembre-marzo, el déficit se hace general para toda la región, en especial en el sector sudoeste (Figura 12B).

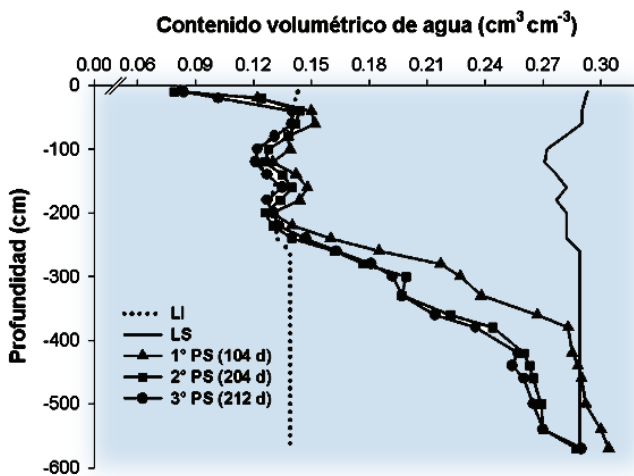
Como en buena parte del año el cultivo debe recurrir a las reservas de agua almacenadas en el suelo, es importante entender la funcionalidad del sistema radical. Dos aspectos relevantes deben considerarse: *i*) la velocidad de profundización de las raíces y su profundidad máxima, y *ii*) la tasa de absorción del sistema radical ya establecido. La velocidad de profundización y la profundidad máxima de un sistema de raíces se

puede determinar por observaciones directas, pero es un procedimiento muy laborioso. Estas variables se pueden estimar en forma indirecta interpretando información detallada sobre la evolución del agua en el suelo, obtenida durante períodos de sequía pro-



**FIGURA 12** - Diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial normal de Penman (27) en la Región Pampeana, considerando la serie 1961-2002 para el período abril-octubre (A), y noviembre-marzo (B). Datos suministrados por el Instituto de Clima y Agua (INTA Castelar)

longada, sea natural o impuesta. La Figura 13 muestra el contenido volumétrico de agua a lo largo del perfil del suelo al final de tres períodos sucesivos de sequía, impuestos a un cultivo de la variedad Victoria SP INTA en Córdoba (8). En este estudio, al inicio de cada período de sequía, el agua del perfil fue repuesta hasta valores cercanos a capacidad de campo. Al final del primer período de sequía, el cultivo tenía 10 meses de edad y había agotado el perfil hasta los 2,20 m de profundidad, aunque también se observó disminución del contenido de agua hasta 3,50 m de profundidad. Al final del segundo y del tercer período de sequía impuesta (cultivo de 17 y 24 meses de edad, respectivamente), las raíces habían alcanzado su máximo desarrollo dado que la cantidad de agua absorbida en ambos períodos fue similar, habiendo agotado el perfil hasta los 2,40 m y absorbido agua hasta los 5,50 m (Figura 13). Este valor es similar a la máxima profundidad del sistema radical (6 m), reportada por Borg y Grimes (5). En un trabajo anterior, Collino y col. (7), habían señalado que, al final de una sequía impuesta a lo largo de 5 me-



**FIGURA 13** - Contenido volumétrico de agua a lo largo del perfil de suelo al final de tres períodos sucesivos de sequía impuesta en la variedad Victoria SP INTA. Ensayo sembrado el 15 de marzo de 2000 en Córdoba. En la leyenda, se indica entre paréntesis la duración de cada período de sequía impuesta (PS), en días. Además se grafica el límite superior (LS) (línea continua), y el límite inferior (LI) (línea punteada) de agua útil. Adaptado de Collino y col. (8).

ses durante el año de implantación, las raíces habían absorbido agua del suelo hasta al menos 3,8 m. Por su parte, Borg y Grimes (5) indicaron que la alfalfa alcanza 1,8-2,4 m en el primer año y 3 a 6 m en los años subsiguientes. Sin embargo, del trabajo de Collino y col. (8) se infiere que durante el primer año del cultivo el consumo de agua alcanza una profundidad mayor a la profundidad de raíces informada por los otros autores. Esto podría deberse a dos causas: *i*) los suelos de Córdoba no presentan restricciones a la profundización y proliferación de raíces, situación extrapolable al oeste y sudoeste de la Región Pampeana; y *ii*) en las capas más profundas del suelo, parte del consumo de agua atribuido a la absorción directa del sistema radical de la alfalfa podría ser, en realidad, flujo insaturado ascendente hacia la zona de exploración radical.

Del trabajo de Collino y col. (8) se aprecia que el agua útil que puede absorber el cultivo resulta de la diferencia entre el límite superior de agua útil y el valor mínimo encontrado en cada capa de suelo luego de un período prolongado de sequía impuesta. Así, la alfalfa a los 10 meses de edad, pudo absorber toda el agua útil hasta los 2,20 metros, y proporciones decrecientes hasta los 3,5 m. Entre los 17 y los 24 meses, pudo absorber mayor cantidad de agua porque fue capaz de absorber toda el agua útil hasta los 2,40 metros, y proporciones decrecientes hasta los 5 m. A partir de esta profundidad, el incremento de su capacidad de absorción fue muy poco significativo (Figura 14). Para un haplustol típico, que representa gran parte de los suelos del área central de Córdoba y de 15 millones de ha en la Región Pampeana (24), el agua útil que puede absorber el cultivo es de 420 mm en el primer año y de 540 mm en los años subsiguientes. Si bien estos valores son propios del tipo de suelo mencionado, pueden ser extra-polados con pocas variaciones al resto de los suelos cultivados con alfalfa en la Región Pampeana, puesto que -para un amplio rango de texturas- la capacidad de retención de agua útil oscila entre 135 y 160 mm por metro de profundidad (12). Esta generalización se puede aplicar porque los suelos donde se cultiva alfalfa no presentan impedimentos de importancia para el desarrollo de las raíces, excepto cuando hay presencia de tosca. Para los suelos de la porción oriental y sudeste de la región, donde los perfiles tienen desarrollados horizontes argílicos, habría que realizar estudios tendientes a caracterizar con mayor precisión la capacidad de absorción de agua por el sistema radical.

La segunda característica que define la aptitud de un sistema de raíces para utilizar las reservas de agua del suelo es la tasa de absorción. Esta tasa representa la capacidad de las raíces para absorber agua de una determinada capa de suelo por unidad de tiempo. En cultivos anuales se ha demostrado que esta tasa de absorción, una vez que las raíces se han desarrollado, y si el suelo no presenta impedimentos, es aproximadamente el 10% del

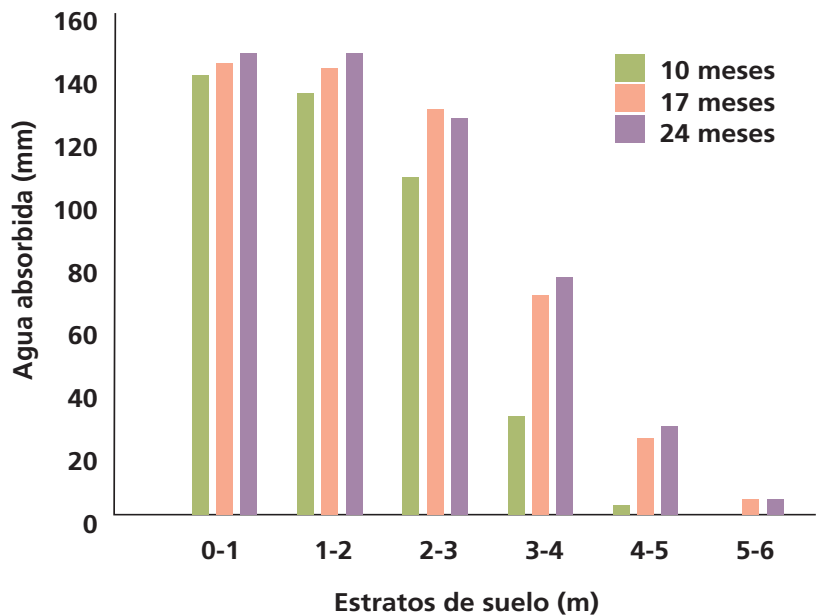


FIGURA 14 - Lámina de agua extraíble por el sistema radical de alfalfa de 10, 17 y 24 meses de edad, expresada para estratos de 1 m en un suelo haplustol típico de Córdoba. Adaptado de Collino y col. (8).

agua útil presente en la capa de suelo por día (13); por ejemplo, si una capa contiene 40 mm de agua útil, las raíces pueden absorber como máximo 4 mm por día. Bajo las mismas condiciones, la alfalfa puede absorber agua a una tasa considerablemente menor: 3% del agua útil presente en la capa (10); es decir que para una capa conteniendo también 40 mm de agua útil, las raíces de alfalfa pueden absorber, como máximo, 1,2 mm por día. Esta restricción hace que el cultivo sufra rápidamente las consecuencias del estrés, dado que por estrategia conservativa no puede satisfacer la demanda atmosférica, aun con contenidos de agua del suelo relativamente elevados. Por otra parte, este comportamiento presenta como ventaja la capacidad de resistir períodos prolongados de sequía sin que el cultivo alcance niveles de estrés severos cercanos a la marchitez. A modo de comparación: mientras que un cultivo anual, en condiciones de sequía, agota en 21 días el 90% del agua útil presente en una capa de suelo, la alfalfa lo hace en 75 días. Además, como el sistema de raíces va agotando sucesivamente el agua útil desde las capas superiores a las inferiores, se puede explicar por qué en el experimento conducido por Collino y col. (8) el cultivo pudo resistir un período de 7 meses sin recibir ningún aporte de agua. Esta capacidad del cultivo de resistir la sequía es a expensas de reducir la producción inmediatamente después de comenzado un período con limitación hídrica. Para mantener una producción de forraje cercana a la potencial, el cultivo debe disponer de una abundante cantidad de agua en forma constante, situación que pocas veces se produce en la Región Pampeana.

Los cultivos que crecen en condiciones de secano pueden ver afectada la eficiencia con la que capturan los recursos radiación y agua para la producción de *MS*. Collino y col. (8) observaron que, con estrés hídrico moderado, la radiación fotosintéticamente activa interceptada (*RFA<sub>i</sub>*) se redujo entre 14 y 23%, aunque sin disminuir la *EUR*, lo que indica que sólo se afectó el proceso de expansión foliar. En consecuencia, el cultivo no logró una cobertura completa y no pudo aprovechar la totalidad de la radiación incidente. En cambio, bajo condiciones de estrés severo, que redujo la *RFA<sub>i</sub>* en un 40%, disminuyó significativa-mente no sólo la cobertura sino también la *EUR*, lo cual indica que hubo un cierre estomático que afectó parcialmente el proceso fotosintético. De todas maneras, la reducción en la *EUR* fue del orden del 10%. Por lo tanto, en cultivos de secano de la Región Pampeana, donde la alfalfa está sometida a niveles variables de déficit hídricos, es más perjudicial la disminución de la cobertura que reduce a su vez la *RFA<sub>i</sub>*, que la disminución de la *EUR*.

Por su parte, la *EUA* manifestó un comportamiento diferente, dado que aumentó a medida que se incrementó el nivel de estrés hídrico (8). Este comportamiento se expresa en una relación curvilínea entre la producción de *MS* y el consumo de agua (*C*), ambos relativos a un testigo regado y tal como se muestra en la Figura 15. Este particular tipo de relación significa que, ante diferentes niveles de estrés hídrico, la producción de materia seca se reduce menos que el consumo de

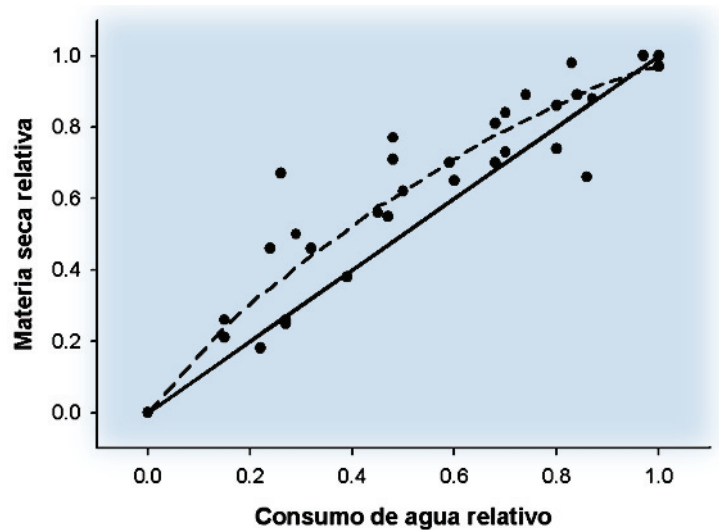


FIGURA 15 - Relación entre la materia seca y el consumo de agua, ambos relativos a un testigo regado. La línea recta representa la relación 1:1 y la línea punteada es la función de ajuste:  $y = 0,997(1 - 0,0195x)$ ,  $r^2 = 0,861$ . Adaptado de Collino y col. (8).



agua. Si ambos procesos fuesen afectados de la misma manera por la sequía, la relación entre ambos sería lineal, tal como está señalado en la Figura 15. La función curvilínea sugiere que ante diferentes niveles de cierre estomático, la transpiración se reduce más que la fotosíntesis, porque la resistencia estomática tiene mucho menos influencia sobre la difusión del CO<sub>2</sub> que sobre la difusión del vapor de agua (16). En el Cuadro 4 se puede observar que para Córdoba, aplicando el modelo de regresión definido en la Figura 15, la *EUA* se incrementa a medida que la restricción al consumo de agua es mayor (es decir con un consumo relativo más bajo). Esta mayor eficiencia en el uso del agua significa una interesante ventaja adaptativa de la alfalfa a la sequía, situación que recurrentemente se presenta en la Región Pampeana.

**CUADRO 4** - Consumo de agua relativo a un testigo regado, producción de materia seca (MS), consumo de agua (C) y eficiencia en el uso del agua (EUA) para la variedad Victoria SP INTA, aplicando el modelo de ajuste presentado en la Figura 15. Los datos de MS, C y EUA en condiciones de riego (consumo relativo = 1), provienen de López y col. (25).

Consumo relativo	MS Mg ha <sup>-1</sup>	C mm	EUA kg mm <sup>-1</sup>
1	28.4	1464	19.4
0.9	26.2	1318	19.9
0.8	24.6	1171	21.0
0.7	22.7	1025	22.1
0.6	20.4	878	23.2
0.5	17.8	732	24.3
0.4	14.9	586	25.5
0.3	11.7	439	26.6

## Consideraciones finales

La naturaleza perenne de la alfalfa ofrece pocas alternativas de manejo con vistas a optimizar la captura y la utilización de los recursos radiación y agua, a diferencia de los cultivos anuales. Además, a lo largo del año, está sometida a condiciones ambientales variables de radiación, temperatura y disponibilidad de agua. En consecuencia, el conocimiento de la eficiencia con que el cultivo utiliza los recursos radiación y agua -y sus riesgos asociados- adquiere significativa relevancia en el momento de decidir su implantación en un ambiente determinado.

Las bajas temperaturas que se producen durante gran parte del año limitan la eficiencia con que la alfalfa utiliza la radiación y el agua disponibles. Una manera de incrementar la eficiencia en el uso de la radiación es aumentar la densidad de siembra, de manera tal de proveer una población de plantas que favorezca una rápida recuperación de la intercepción de la radiación luego de cada corte. Paralelamente, a fin de utilizar de manera más eficiente esa radiación, se deben minimizar las limitaciones en la disponibilidad de agua.

En la Región Pampeana, la alfalfa requiere entre 1.100 y 1.550 mm de agua para lograr la producción potencial de forraje. El agua almacenada en el suelo puede ser una fuente importante de abastecimiento, principalmente en los dos primeros años de vida de la alfalfa. Durante el primer año, el cultivo es capaz de aprovechar gran parte del agua útil almacenada en el perfil del suelo hasta 3,5 m de profundidad. En el segundo año, si bien aprovecha una menor proporción, puede utilizar el agua útil almacenada hasta los 5,5 m del perfil.

En la Región Pampeana, las precipitaciones efectivas son insuficientes para cubrir

todos los requerimientos hídricos que supone alcanzar la producción potencial de forraje del cultivo. Por otra parte, la alfalfa -por su condición de especie perenne- presenta una estrategia conservativa en el uso del agua del suelo, que si bien le permite resistir largos períodos de sequía, la obliga a reducir la expansión de las hojas; esto afecta la fotosíntesis y la intercepción y la eficiencia de uso de la radiación. Por lo tanto, la producción de materia seca se ve rápidamente reducida, aun ante condiciones de estrés moderado. Sin embargo, el cultivo -también como mecanismo de tolerancia o adaptación- tiene la capacidad de aumentar la eficiencia de uso del agua a medida que el nivel de estrés hídrico se incrementa. No obstante, la mejor estrategia para incrementar el uso del agua y la producción de forraje es la capacidad del sistema radical para utilizar el agua disponible en napas freáticas relativamente profundas. En la Región Pampeana se ha observado que el cultivo puede aprovechar con efectividad el agua proveniente de napas freáticas ubicadas entre 2,25 y 6 m de profundidad. Esta fuente de agua puede suplir parcialmente las necesidades del cultivo, en mayor proporción a medida que la precipitación efectiva anual disminuye.

Una de las estrategias de manejo que puede ser aplicada a la alfalfa es la elección de variedades que difieran marcadamente en su grado de reposo invernal. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que esas diferencias pueden minimizarse, o no existir, si se utilizan variedades de latencia invernal relativamente cercana. Tal es el caso de lo analizado en este capítulo, donde se demostró que cultivares de alfalfa de reposo invernal 6 y 8 difirieron solamente en su distribución estacional de la producción de forraje, pero no en la producción total de materia seca ni en la capacidad de exploración del sistema radical o en el consumo de agua.

## Bibliografía

- 1- ABATE, P.E, J. L. DARDANELLI, M. G. CANTARERO, M. MATURANO, R. J. MELCHIORI y E. E. SUERO. 2000. Efecto del ambiente climático sobre la eficiencia del uso del agua en trigo regado. *Rev. Arg. de Agrometeorología*. 1(2):1-4.
- 2- ALLEN, R. G.; L. S. PEREIRA, D. RAES and M. SMITH. 1998. Reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>). *In: FAO (ed.) Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.* pp. 15-86.
- 3- BERTÍN, O. D. 1996. La producción de alfalfa en el norte de Buenos Aires. *Agromercado*. Año 11, N° 125: 2-6.
- 4- BOLGER, T. P. and A.G. MATCHES. 1990. Water-use efficiency and yield of sainfoin and alfalfa. *Crop Science*. 30:143-148.
- 5- BORG, H. and D.W. GRIMES. 1986. Depth development of roots with time: an empirical description. *Trans. ASAE* 29: 194-196.
- 6- CAVIGLIA, O. P. and V. O. SADRAS. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. *Field Crops Res*. 69: 259-266.
- 7- COLLINO, D. J., A. LÓPEZ, J. L. DARDANELLI, R. SERENO and R. W. RACCA. 1997. Effect of water availability on water use strategies and dry matter production by two alfalfa cultivars differing in winter dormancy. *Phyton* 61(1/2): 45-53.
- 8- COLLINO, D. J., J. L. DARDANELLI, M. J. De LUCA, and R.W. 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.
- 9- DARDANELLI, J. L., A. C. de la CASA, M. R. ATECA, R. ZANVETTOR, F. NÚÑEZ VÁZQUEZ y H. P. SALAS. 1992. Validación del balance hidrológico versátil para la rotación sorgo-soja bajo dos sistemas de labranza. *Rev. Agrop. de INTA Manfredi y Marcos Juárez*. 7 (2): 20-29.
- 10-DARDANELLI, J. L., O. A. BACHMEIER, R. SERENO and R. C. GIL. 1997. Potential soil water extraction parameters for several crops in a silty loam soil. *Field Crops Res*. 54: 29-38.

- 11-DARDANELLI, J. and D. J. COLLINO. 2002. Water table contribution to alfalfa water use in different environments of the Argentine Pampas. *Agriscientia*. 19: 11-18.
- 12-DARDANELLI, J. L. y J. ANDRIANI. 2003. La disponibilidad hídrica y la respuesta del cultivo de soja. *In: E. Satorre (ed.) El libro de la soja. Cuaderno de Actualización Técnica AACREA N° 66 - Revista Técnica de AAPRESID: Soja en siembra directa.* pp 107-118.
- 13-DARDANELLI, J. L., J. T. RITCHIE, M. CALMON, J. M. ANDRIANI and D. J. COLLINO. 2004. An empirical model for root water uptake. *Field Crops Res.* 87(1): 59-71.
- 14-DOORENBOS, J. and A.H. KASSAM. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage.* Paper No. 33.
- 15-DURU, M. and A. LANGLET. 1989. Dry matter growth and setting up of leaf area for cocksfoot and alfalfa without water stress. *Agronomie.* 9: 973-984.
- 16-FERREYRA, R. A., J. L. DARDANELLI, L. B. PACHEPSKY, D. J. COLLINO, P. C. FAUTINELLI, G. GIAMBASTIANI, V. R. REDDY and J.W. JONES. 2003. Nonlinear effects of water stress on peanut photosynthesis at crop and leaf scales. *Ecological Modelling.* 168: 57-76.
- 17-FICK, G. W., D. A. HOLT and D. G. LUGG. 1988. Environmental physiology and crop growth. *In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R.R. Hill (eds.) Alfalfa and alfalfa improvement. Agronomy Monograph N° 29, Chapter 5. ASA-CSSA-SSSA. Madison, USA.* pp. 163-194.
- 18-GAUCHER, G. 1971. *Tratado de Pedología Agrícola. El suelo y sus características agronómicas.* Ediciones Omega, Barcelona, España. 632 p.
- 19-GOSSE, G., C. VARLET-GRANCHER, R. BONHOMME, M. CHARTIER, J. M. ALLIRAND and G. LEMAIRE. 1986. Maximum dry matter production and solar radiation intercepted by a canopy. *Agronomie.* 6: 47-56.
- 20-GUITJENS, J. C. 1990. Alfalfa and alfalfa improvement. *In: B. A. Stewart and D.R. Nielsen (Eds.) Irrigation of agricultural crops. Agronomy Monograph N° 30. ASA-CSSA-SSSA. Madison. USA.* pp. 537-568.
- 21-HALL, A. J., C. M. REBELLA, C. M. GHERSA and J. P. CULOT. 1992. Field-crop systems of the Pampas. *In: C. J. Pearson (ed.) Ecosystems of the world: field crop ecosystems.* Elsevier Science BV. Amsterdam, Holland, pp. 413-449.
- 22-HEICHEL, G. H., R. H. DELANEY and H. T. CRALLE. 1988. Carbon assimilation, partitioning and utilization. *In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill (eds.) Alfalfa and alfalfa improvement, Chapter 6. Agronomy Monograph N° 29. ASA- CSSA-SSSA. Madison, USA.* pp.195-228.
- 23-INDEC. 2003. Datos del sector agropecuario, agricultura, forrajeras. <http://www.indec.gov.ar> (fecha de consulta: 21/11/2004).
- 24-INTA-PNUD. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Tomos I y II. SAGPyA. Buenos Aires, Argentina.
- 25-LÓPEZ, J. L. DARDANELLI, D. COLLINO, R. SERENO y R. W. RACCA. 1997. Efecto del grado de reposo invernal sobre la producción, consumo y eficiencia en el uso del agua en alfalfa cultivada bajo riego. *RIA* 28 (2): 41-48.
- 26-MONTEITH, J. L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *J. Appl. Ecol.* 9: 747-766.
- 27-PENMAN, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. London.* A193: 120-145.
- 28-RACCA, R., D. COLLINO, J. DARDANELLI, D. BASIGALUP, N. GONZÁLEZ, E. BRENZONI, N. HEIN y M. BALZARINI. 2001. Contribución de la fijación biológica de nitrógeno a la nutrición nitrogenada de la alfalfa en la Región Pampeana. ISBN 987-521-045-5. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. 56 p.
- 29-ROSSANIGO, R. O., M. del C. SPADA y O. A. BRUNO. 1995. Evaluación de cultivares de alfalfa y panorama varietal en la Argentina. *In: E. H. Hijano y A. Navarro (eds.) La Alfalfa en la Argentina. INTA. Capítulo 4. Enc. Agro de Cuyo, Manuales N° 11. Editar, San Juan, Argentina.* pp. 63-78.
- 30-SHEAFFER, C. C., C. B. TANNER and M. B. KIRKHAN. 1988. Water relations and irrigation. *In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill (eds.) Alfalfa and alfalfa improvement. Agronomy Monograph N° 29, Chapter 11. ASA-CSSA-SSSA. Madison, USA,* pp. 373-409.
- 31-SPADA, M del C. 1995. Avances en Alfalfa. Ensayos territoriales. EEA Manfredi – INTA. Año 5 N° 5, 39 p.

- 32-SPADA, M del C. 1998. Avances en Alfalfa. Ensayos territoriales. EEA Manfredi - INTA. Año 8 N° 8, 78 p.
- 33-SPADA, M del C. 2000. Avances en Alfalfa. Ensayos territoriales. EEA Manfredi - INTA. Año 10 N° 10, 64 p.
- 34-SPADA, M del C. 2001. Avances en Alfalfa. Ensayos territoriales. EEA Manfredi - INTA. Año 11 N° 11, 36 p.
- 35-SPADA, M del C. 2002. Avances en alfalfa. Ensayos territoriales. EEA Manfredi - INTA. Año 12 N° 12, 59 p.
- 36-TANNER, C. B. and T. R. SINCLAIR. 1983. Efficient water use in crop production: «research or re-search?» *In*: H. M. Taylor, W. R. Jordan and T.R. Sinclair (eds.) Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. ASA-CSSA-SSSA, Madison, USA, pp.1-27.
- 37-YUNUSA, I. A. M., R. K. BELFORD, D. TENNANT and R. H. SEDGLEY. 1993. Row spacing fails to modify soil evaporation and grain yield in spring wheat in a dry mediterranean environment. Aust. J. Agric. Res. 44: 661-676.





## Nutrición nitrogenada de la alfalfa e impacto de la fijación biológica del nitrógeno

*Ing. Agr. Roberto W. Racca*  
INTA IFFIVE (Córdoba)

*Ing. Agr. Norma González*  
EEA Balcarce – INTA.



## Introducción

Una característica destacada de la alfalfa es el alto contenido de N total que, casi exclusivamente en forma de proteínas y aminos, se ubica principalmente en las hojas. Comparado con otras especies, el forraje de alfalfa tiene un mayor contenido de proteínas y por consiguiente, altos requerimientos nitrogenados (2, 11). En condiciones de regadío, Ball y Teneyck (1) y Roth y col. (17) determinaron que para producir 21,3 y 47,5 tn de materia seca (MS)  $\text{ha}^{-1}$   $\text{año}^{-1}$ , la alfalfa extrae entre 784 y 1120 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente. En condiciones de secano, Romero y col. (15) establecieron que una producción de alfalfa de 15 tn MS  $\text{ha}^{-1}$   $\text{año}^{-1}$  utiliza 450 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ .

Dentro de los ciclos biogeoquímicos de los minerales, el del N es posiblemente uno de los más complejos, ya que el elemento se encuentra en condiciones naturales en diferentes estados de oxidación, que van desde +5 a -3, formando compuestos estables. El N es imprescindible para el crecimiento vegetal. Sin embargo, a pesar de que la atmósfera contiene aproximadamente un 78% de  $\text{N}_2$ , las plantas superiores no pueden utilizarlo directamente en su nutrición. Esto es así porque la triple ligadura que une los dos átomos del  $\text{N}_2$  es una de las más fuertes que se conocen en la naturaleza. Solamente algunas bacterias, entre ellas las Rizobiaceas, poseen un complejo enzimático denominado nitrogenasa, que les permite romper esas triples ligaduras a temperatura y presión ambientales normales, necesitando para ello de energía metabólica (ATP), que debe ser provista por la planta hospedera con la que la bacteria debe asociarse para que el proceso natural de fijación biológica del nitrógeno (FBN) ocurra.

El establecimiento de la simbiosis fijadora de nitrógeno es el resultado de una compleja serie de eventos coordinados de comunicación, reconocimiento y diferenciación entre la planta de alfalfa y su bacteria específica. Cuando estos pasos se cumplen, la manifestación de la simbiosis es la formación de un nuevo órgano vegetal: el nódulo. Este último está habitado por las bacterias simbióticas que, transformadas en bacteroides, son capaces de cumplir con el proceso de reducción del  $\text{N}_2$  a  $\text{NH}_3$  (10).

Normalmente, la alfalfa satisface gran parte de sus requerimientos nitrogenados por medio de la FBN, a través de su relación simbiótica con la bacteria *Sinorhizobium meliloti*. Heichel y col. (8) estimaron que la alfalfa puede derivar de la FBN entre 43 y 64% de sus requerimientos totales de N. Se ha determinado que el cultivo puede fijar entre 50 y 740 kg de  $\text{N}_2$   $\text{ha}^{-1}$   $\text{año}^{-1}$ , con un promedio de aproximadamente 200 kg de  $\text{N}_2$   $\text{ha}^{-1}$   $\text{año}^{-1}$  (20, 8, 9). Este amplio rango en las estimaciones de  $\text{N}_2$  fijado está condicionado por una serie de factores, entre los que se incluyen la cepa del rizobio y su interacción con el genotipo de la planta, las condiciones ambientales (pH, contenido de P y K del suelo, disponibilidad de agua, radiación, temperatura etc.) y las alternativas de manejo del cultivo (21).

Existe una profusa información fisiológica, bioquímica y genómica referente a la simbiosis entre *Sinorhizobium meliloti* y varias especies del género *Medicago*, entre ellas la alfalfa (7, 12, 5). Sin embargo, el estudio de la magnitud del proceso de FBN a campo y su relación con los rendimientos no es tan frecuente, dada la complejidad de las interacciones que se establecen entre la planta, la bacteria y su ambiente.

Valorar la importancia de la FBN en la alfalfa y los factores que la condicionan es trascendente para la sustentabilidad de los sistemas de producción que la incluyen. Si este cultivo no pudiera satisfacer la mayor parte de sus altos requerimientos de N a

través de la FBN, disminuiría significativamente sus rendimientos y la fertilidad nitrogenada de los suelos en los que crece. Esto afectaría la productividad de los cultivos agrícolas que le siguen en la rotación y obligaría al empleo de fertilizantes químicos, con el consiguiente impacto económico y ambiental.

Entre 1993 y 1997, el INTA generó un proyecto nacional titulado «Fijación Biológica del Nitrógeno en Alfalfa para el Desarrollo Sostenible de los Sistemas Agrícola Ganaderos» (PRONALFA). Su objetivo principal fue determinar la contribución de la FBN a la nutrición nitrogenada de la alfalfa (% de N derivado de la atmósfera) y evaluar el impacto que sobre este proceso tienen los factores de clima y suelo. En el marco del mismo se implementaron ensayos en Rafaela (Santa Fe), Manfredi (Córdoba), Anguil (La Pampa), General Villegas (Buenos Aires) y Barrow (Buenos Aires), localidades ubicadas en las áreas pampeanas tradicionalmente productoras de alfalfa, que representaban combinaciones particulares de condiciones edáficas (rango textural de franco-arcilloso a franco-arenoso) e hídricas (precipitaciones anuales de 950 mm en la zona húmeda a 630 mm en la zona semiárida). Todos los suelos presentaban valores de P que excedían los niveles críticos para alfalfa, excepto Barrow, cuyos valores fueron corregidos por fertilización.

A continuación, y sobre la base de la información generada por el PRONALFA (13), se analizarán diversos aspectos involucrados en la dinámica de la nutrición nitrogenada del cultivo de alfalfa en la Región Pampeana bajo condiciones de sequo.

## Producción de forraje y acumulación de nitrógeno

La producción promedio de forraje durante los cuatro años en que se condujeron los ensayos del proyecto, fluctuó entre 5.767 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de MS en Barrow (con una limitación severa de profundidad del suelo por presencia de una capa de tosca entre 40 y 60 cm y los valores más bajos de temperatura y radiación) y 16.582 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de MS en Rafaela (sin limitantes edáficas importantes y con los máximos valores de temperatura y radiación de todos los sitios ensayados) (Figura 1). Estos valores están comprendidos en el rango experimental de rendimiento de forraje citado por Rossanigo y col. (16) para cultivares bajo corte. En general, se observó que la variabilidad en la producción de forraje a lo largo del proyecto fue más importante entre localidades que entre campañas dentro de cada localidad.

El promedio de acumulación total de nitrógeno, considerando las cuatro campañas de evaluación en cada localidad, varió entre 193 y 550 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para Barrow y Rafaela, respectivamente. En la Figura 2 se presentan los valores promedio para cada campaña en cada localidad.

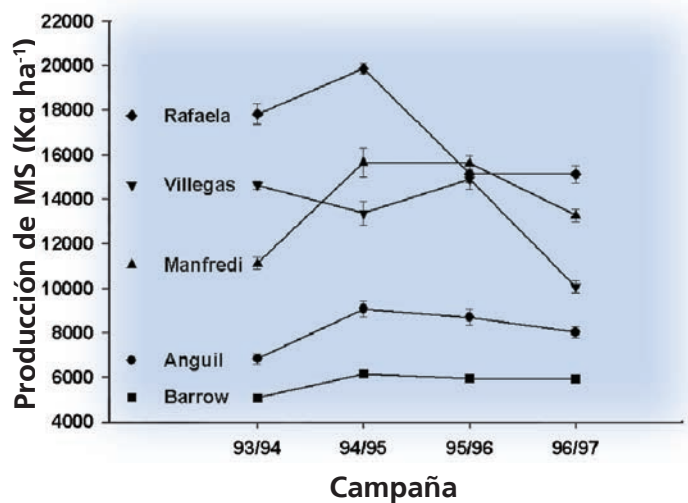
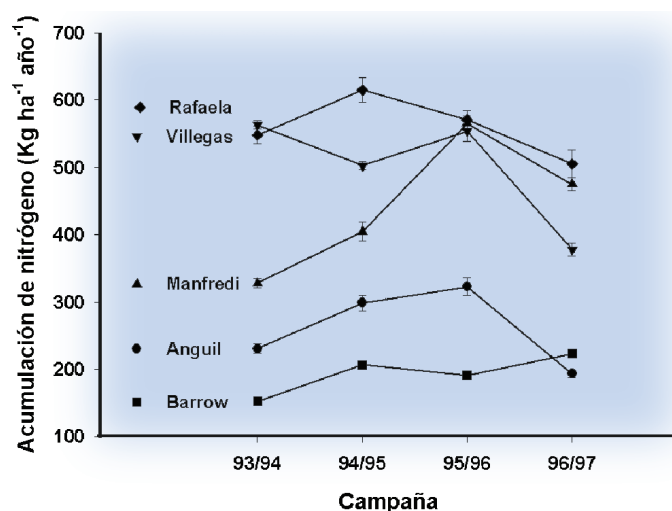


FIGURA 1: Producción de materia seca (MS) de alfalfa en sequo durante cuatro campañas en cinco localidades de la Región Pampeana. Los segmentos verticales representan el error estándar. Adaptado del Proyecto PRONALFA (13).



**FIGURA 2:** Acumulación de nitrógeno en forraje de alfalfa producido en seco durante cuatro campañas en cinco localidades de la Región Pampeana. Los segmentos verticales representan el error estándar. Adaptado del Proyecto PRONALFA (13).

agua, tanto de las precipitaciones como del acceso a la napa freática que se experimentó en algunas localidades (Cuadro 2).

En la Figura 3 se presenta la evolución de la cantidad de nitrógeno fijado ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) en cada localidad y para las cuatro temporadas en las que se condujeron los ensayos. Claramente se aprecia que los mayores valores de FBN correspondieron a Rafaela y General Villegas, en tanto que los menores valores se observaron en Barrow y Anguil. Es interesante resaltar que durante las dos primeras campañas, aun con una producción de forraje por debajo de otras localidades (Figura 1), General Villegas registró los mayores aportes de nitrógeno derivados de la FBN, como consecuencia de su mayor porcentaje de fijación (Cuadro 1).

Analizando los valores de FBN por localidad, pero considerando conjuntamente las cuatro temporadas, se observó que los valores promedio de fijación oscilaron entre  $102$  y  $349 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para las localidades de Barrow y Rafaela, respectivamente. El promedio general de FBN para el conjunto de temporadas y localidades alcanzó los  $217,2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (13). Todos estos valores (rango y promedio general) son muy similares a los informados por Vance y col. (21).

## Aporte de nitrógeno por fijación biológica

La cantidad de Nitrógeno aportada por la fijación biológica, estimada a través de la técnica del valor A con el uso de  $^{15}\text{N}$  propuesta por Rennie y col. (14), fluctuó entre  $28,7$  y  $79,4 \%$  (Cuadro 1).

Haciendo una evaluación global por temporada, se aprecia que -en líneas generales- el porcentaje de N derivado de la FBN fue máximo en la primera, disminuyó en la segunda y tercera y se incrementó nuevamente en la cuarta. Este comportamiento se vio influenciado principalmente por la disponibilidad de

**CUADRO 1.** Porcentaje de nitrógeno derivado de la fijación biológica respecto del contenido total de N en biomasa aérea de alfalfa en ensayos conducidos por cuatro temporadas en cinco localidades de la Región Pampeana. Adaptado del Proyecto PRONALFA (13).

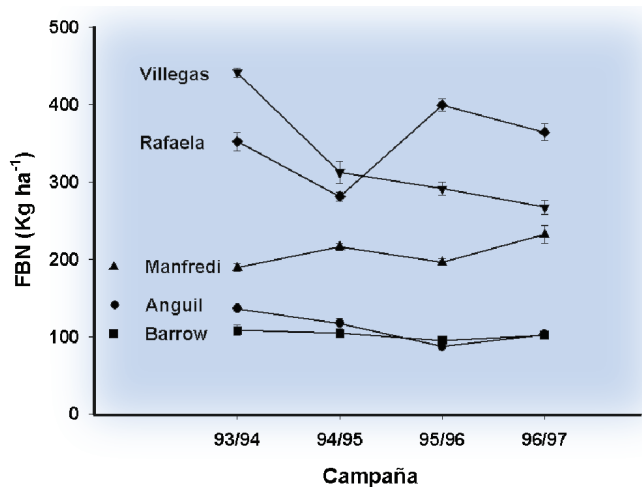
Porcentaje de Nitrógeno (%) Campaña					
Localidad	93/94	94/95	95/96	96/97	Promedio
Anguil	60,2	39,8	28,7	52,6	42,00
Barrow	70,1	48,7	53,1	45,3	54,06
Manfredi	58,8	49,7	32,1	44,5	43,44
Rafaela	64,8	45,8	69,8	78,8	65,80
Villegas	79,4	54,9	52,5	63,9	60,64
<b>Promedio</b>	66,6	47,8	47,2	57,0	53,18



**CUADRO 2:** Evapotranspiración potencial de cultivo o ETc (mm), consumo de agua (mm), aporte de la napa freática (mm y %) y deficiencia de agua (mm) en ensayos de alfalfa conducidos por cuatro temporadas en cinco localidades de la Región Pampeana. Adaptado del Proyecto PRONALFA (13).

Localidad	Campaña	ETc (mm)	Consumo de Agua (mm)	Aporte de la napa (mm)	Aporte de la napa (%)	Deficiencia de agua con aporte de napa (mm)	Deficiencia de agua sin aporte de napa (mm)
Anguil	93/94	1460	701	0	0	759	759
	94/95	1602	564	0	0	1038	1038
	95/96	1434	582	0	0	852	852
	96/97	1464	749	0	0	808	808
	<b>Media</b>	<b>1490</b>	<b>649</b>	<b>=0</b>	<b>0</b>	<b>841</b>	<b>841</b>
Barrow	93/94	1275	762	0	0	513	513
	94/95	1340	713	0	0	627	627
	95/96	1389	718	0	0	671	671
	96/97	1325	739	0	0	586	586
	<b>Media</b>	<b>1332</b>	<b>733</b>	<b>=0</b>	<b>0</b>	<b>599</b>	<b>599</b>
Manfredi	93/94	1418	760	0	0	658	658
	94/95	1476	819	339	41.4	657	996
	95/96	1283	823	320	38.9	460	780
	96/97	1527	728	98	13.5	799	897
	<b>Media</b>	<b>1426</b>	<b>783</b>	<b>=757</b>	<b>24.2</b>	<b>643</b>	<b>833</b>
Rafaela	93/94	1428	891	77	8.6	537	614
	94/95	1526	1034	409	39.6	492	899
	95/96	1510	922	150	16.3	588	738
	96/97	1401	738	331	44.9	663	994
	<b>Media</b>	<b>1466</b>	<b>896</b>	<b>=967</b>	<b>27.0</b>	<b>570</b>	<b>811</b>
Villegas	93/94	1389	863	192	22.2	526	718
	94/95	1369	933	118	12.6	436	554
	95/96	1499	946	280	29.6	553	833
	96/97	1483	634	0	0	849	849
	<b>Media</b>	<b>1435</b>	<b>844</b>	<b>=590</b>	<b>17.5</b>	<b>591</b>	<b>738</b>

De acuerdo con Collino y col. (3), las condiciones de temperatura, radiación y disponibilidad de agua (precipitación más aporte de napa) podrían explicar mayormente las variaciones en producción de forraje y FBN entre localidades y entre temporadas dentro de cada localidad. La evapotranspiración calculada (ETc) fue similar entre localidades, excepto en Barrow donde los menores valores de radiación y temperatura determinaron condiciones de menor demanda atmosférica (Cuadros 2 y 3). El consumo de agua del cultivo fluctuó entre 44% y 61% de la ETc en Anguil y Rafaela, respectivamente, indicando que en todas las localidades hubo importantes deficiencias de agua. Sin embargo, esas deficiencias no estuvieron directamente relacionadas con la precipitación efectiva en Manfredi, Rafaela y General Villegas, porque en estas localidades hubo aporte de agua desde la napa freática. Si bien este aporte fue variable, no sólo entre estas localidades sino también entre campañas dentro de localidades, resultó de un efecto significativo para mitigar -al menos en parte- la eventual escasez de humedad. En este contexto, si no se hubiesen producido los aportes de la napa, las deficiencias hídricas



**FIGURA 3** – Cantidad de N ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) derivado de la fijación biológica en forraje de alfalfa producido en seco durante cuatro campañas en cinco localidades de la Región Pampeana. Los segmentos verticales representan el error estándar. Adaptado del Proyecto PRONALFA (13).

habrían sido similares en Anguil, Manfredi y Rafaela. La combinación de aportes de agua por precipitaciones y napa freática hizo que las menores deficiencias se registraran en Rafaela, General Villegas y Barrow, mientras que en Manfredi se presentaron valores intermedios y en Anguil se verificó la condición hídrica más desfavorable.

De todo lo anterior se puede concluir que en los alfalfares de la Región Pampeana, como promedio general, el 53% del nitrógeno total acumulado en la biomasa aérea deriva de la FBN, con un rango que va del 79 al 29% y que depende de la interacción planta-ambiente. En ese contexto, la

disponibilidad de agua constituye un factor de primer orden para la determinación de la magnitud de la FBN.

**CUADRO 3** – Valores promedio y coeficientes de variación (entre paréntesis) de temperaturas máxima (T.máx.) y mínima (T.mín.), radiación solar (Rad.), evapotranspiración potencial de referencia (ETo), precipitaciones (Pp.) y deficiencia hídrica climática (ETo-Pp.) para cinco localidades de la Región Pampeana en el periodo 1993/97. Adaptado del Proyecto PRONALFA (13).

Localidad	T.máx. °C	T.mín. °C	Rad. $\text{MJ m}^{-2}$	Eto Mm	Pp. mm	ETo-Pp. Mm
Anguil	23,0 (1,2)	8,1 (7,5)	15,3 ( 2,1)	1625 (3,0)	763 (33,8)	862 (42,4)
Barrow	20,6 (1,7)	7,7 (6,1)	15,3 (1,8)	1459 (2,5)	838 (13,1)	621 (17,9)
Manfredi	24,0 (2,3)	9,9 (3,3)	15,8 (4,1)	1562 (6,2)	636 (13,2)	925 (20,2)
Rafaela	24,8 (2,7)	12,0 (2,1)	16,7 (2,6)	1622 (7,7)	806 (21,8)	816 (4,6)
Villegas	22,7 (3,4)	8,4 (6,8)	15,7 (3,8)	1571 (5,1)	760 (17,9)	811 (31,3)
C.V.	(6,7)	(18,2)	(4,1)	(6,1)	(21,3)	(32,6)

## Rizobios en el suelo y el sistema nodular

La información provista por el Proyecto PRONALFA también ha permitido comprobar que habitualmente en los suelos alfareros de la Región Pampeana existen poblaciones nativas o naturalizadas de *Sinorhizobium meliloti*, capaces de nodular especies de los géneros *Medicago*, *Melilotus* y *Trigonella*. Estas poblaciones de rizobios se encuentran en número variable y a distintas profundidades. Con frecuencia, en los muestreos iniciales cercanos a la siembra, las técnicas de detección habituales de estos microorganismos arrojan resultados negativos (13). Sin embargo, cuando los cultivos

no inoculados comienzan a desarrollarse, aparecen nódulos espontáneos, que son consecuencia de la estimulación que ejercen las plantas de alfalfa sobre estas poblaciones de muy bajo número de individuos por gramo de suelo (4). Esto ha sido confirmado en nuevos ensayos conducidos en Balcarce y en Punta Espinillo (Uruguay), donde en suelos aparentemente libres de rizobios específicos para alfalfa en el momento de la siembra, se detectó en la primavera siguiente que el 25% de los nódulos estaban ocupados por una cepa diferente de la inoculada (*A. Grassano* y *A. Ronchi*, *UN La Pampa, comunicación personal*). En esas zonas, y principalmente en Uruguay, la carga inicial no detectable de *S. meliloti* en los suelos condiciona una implantación muy deficitaria del cultivo (*C. Labandera*, *R. O. del Uruguay, comunicación personal*).

Durante la conducción de los ensayos del Proyecto PRONALFA la observación de los sistemas radicales de alfalfa a lo largo del perfil de suelo permitió la detección de nódulos en toda la raíz, hasta profundidades superiores a 1 m. La distribución de los nódulos en el perfil presentó usualmente gran variabilidad y no pareció estar ligada al tipo de suelo, excepto en Barrow, donde la presencia de un horizonte petrocálcico definido causa serias limitaciones para el desarrollo de las plantas.

En aquellos tratamientos del Proyecto PRONALFA, en los que se sembró semilla de alfalfa inoculada, los rizobios que se incorporaron con el inoculante fueron capaces de formar nódulos en todas las temporadas, tanto en superficie como en profundidad, lo que indica que las cepas introducidas fueron capaces de persistir y competir eficientemente con las cepas naturalizadas.

En respuesta a la inoculación, e independientemente de la población de *Sinorhizobium meliloti* naturalizada en el suelo, durante el año de implantación y en los primeros 30 cm de profundidad, aparecieron nódulos asociados a la raíz principal o a raíces secundarias en desarrollo. Los nódulos de alfalfa, cuando son nuevos, tienen forma unilobulada o alargada; a medida que se siguen desarrollando adquieren aspecto palmado, y finalmente -si persisten- forman ramilletes coraloides o racimos (Figuras 4 y 5).

Los nódulos de alfalfa son de tipo meristemático y de crecimiento indeterminado. Estas características, frente a situaciones de estrés moderado (corte, defoliación, sequía, etc.), hacen que aunque una parte o la totalidad del tejido funcional que participa en la FBN pueda morir, el meristema nodular persista y sea capaz de regenerar el crecimiento cuando la situación de estrés se revierta (18).

La nodulación inicial, expresada como porcentaje de plantas noduladas, es usualmente más abundante en aquellos suelos que presentan altos contenidos de  $\text{Ca}^{2+}$  y un pH próximo a la neutralidad, porque en ellos la población rizobial naturalizada es también mayor. En una etapa temprana, si no existen limitaciones en el suministro de P, el agua disponible en la porción del suelo explorado por las raíces es el factor que regula directamente la magnitud de la



**FIGURA 4** – Nódulos de alfalfa de forma alargada, detectados a profundidades cercanas a los 30 cm durante el año de implantación del cultivo. Adaptado de Proyecto PRONALFA (13).

nodulación. A pesar de que se ha señalado que niveles medianamente altos de materia orgánica conllevan un alto potencial de mineralización y, por lo tanto, podrían desalentar la nodulación (6), ésta no se vio comprometida en los ensayos del Proyecto PRONALFA (13).

A medida que avanza el ciclo del cultivo y las raíces profundizan en el suelo, es frecuente la no detección de nódulos en los primeros 30 ó 40 cm del perfil; ello no implica que la alfalfa los haya perdido sino que éstos se desarrollan a mayor profundidad.

Como la emisión de raíces nuevas está gobernada por la disponibilidad de agua, cuando la humedad de los estratos superficiales del suelo se va agotando, el sistema radical de la alfalfa -si no encuentra mayores limitaciones- va profundizando y emitiendo raicillas capaces de aprovechar el contenido de agua subsuperficial. Estas raicillas son receptoras a las células de *S. meliloti* y pueden formar nuevos nódulos en profundidad (Figura 6), que en algunos casos pueden superar el metro.



FIGURA 6 – Nódulos de aspecto coraloides encontrados a una profundidad cercana a los 70 cm en raíces de alfalfa de 2 años de edad. Adaptado de Proyecto PRONALFA (13).

La observación de sistemas radiculares sin disturbar, en suelos bajo una intensa sequía, muestra que los primeros 30-40 cm de raíz principal son muy pobres en raicillas secundarias y prácticamente sin nódulos. Por el contrario, en una situación sin limitaciones hídricas, se encuentra gran abundancia de nuevas raicillas cortas, unidas a la raíz principal, que albergan nódulos nuevos.

Aún bajo condiciones de sequía, se observa la existencia de nódulos persistentes en profundidad, en ramilletes coraloides o en racimos (19), que en ocasiones pueden llegar a diámetros superiores a 1 cm. Esto sugiere una estrategia de supervivencia diferente para este tipo de nódulos. La masa nodular profunda parece ser bastante independiente de las condiciones ambientales. Sus nódulos serían capaces de otorgar estabilidad al sistema de FBN, satisfaciendo en gran parte los requerimientos nutricionales nitrogenados del cultivo. Contrariamente, los nódulos de las capas superficiales del suelo, al ser más dependientes de las condiciones edafoclimáticas (humedad y temperatura), pueden inactivarse, morir o volver a formarse en función del crecimiento de raicillas y de la humedad disponible.



FIGURA 5 – Ramilletes coraloides de nódulos de alfalfa detectados durante el tercer año de vida del cultivo. Adaptado de Proyecto PRONALFA (13).

La formación de éstas nuevas raicillas sería la clave para la dinámica de nodulación en profundidad.

La observación de sistemas radiculares sin disturbar, en suelos bajo una intensa sequía, muestra que los primeros 30-40 cm de raíz principal son muy pobres en raicillas secundarias y prácticamente sin nódulos. Por el contrario, en una situación sin limitaciones hídricas, se encuentra gran abundancia de nuevas raicillas cortas, unidas a la raíz principal, que albergan nódulos nuevos.



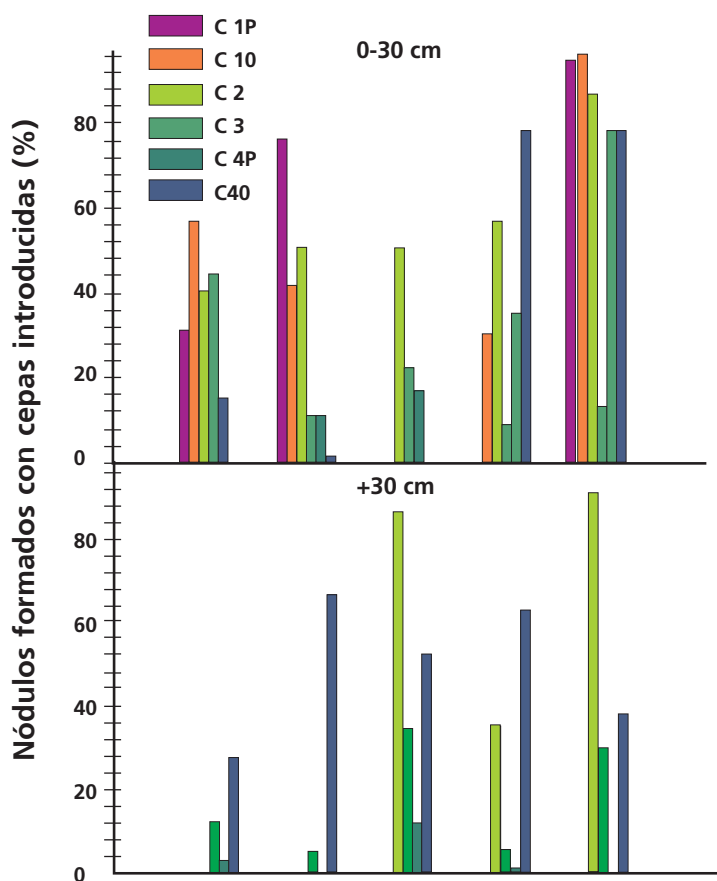
En función de todo lo precedente, Racca y col. (13) sugirieron que el sistema nodular superficial actuaría como compensador de los mayores requerimientos nitrogenados del cultivo cuando se dan condiciones ambientales favorables para su crecimiento, en tanto que el profundo sería el responsable de la supervivencia del cultivo.

La población saprofítica de *Sinorhizobium meliloti* tiende a aumentar en el suelo a través de los primeros años de cultivo, para posteriormente estabilizarse en función de las condiciones locales de clima y suelo. Aunque la inoculación puede contribuir a alcanzar este equilibrio, se estima como más importante el papel que juega la estimulación provocada por los exudados radicales de la alfalfa. Por otro lado, y a través del estudio de la dinámica de la ocupación nodular en el Proyecto PRONALFA (13), se ha comprobado el fenómeno de competencia, tanto en el estrato superficial como en profundidad del perfil. En general, las cepas naturalizadas dominaron los sistemas nodulares en todos los sitios experimentales; sin embargo, en algunas campañas y localidades las cepas introducidas fueron las que formaron el mayor porcentaje de nódulos (Figura 7). Respecto de las cepas naturalizadas, la competitividad de las cepas introducidas fue elevada y varió desde 30% (Manfredi) hasta 75% (General Villegas) de ocupación nodular en el estrato 0-30 cm y de 14% (Anguil) a 53% (General Villegas) a profundidades mayores. A lo largo de los años, y como promedio general, la proporción de nódulos ocupados por las cepas introducidas disminuyó en el estrato de 0-30 cm de 57% en la primera mitad del proyecto a 31% en la segunda, mientras que a mayores profundidades la disminución fue de 42% a 23%, respectivamente. Este comportamiento podría indicar una mayor persistencia de los nódulos formados a partir de cepas naturalizadas, o bien una mayor disponibilidad y/o competitividad de estas últimas a través del tiempo.

En consecuencia, los resultados de productividad y de acumulación de nitrógeno, así como también la proporción de éste que proviene de la fijación biológica, parecen ser la consecuencia de una combinación de la actividad de las cepas naturalizadas y las introducidas. Los datos del Proyecto PRONALFA permiten inferir que tanto las cepas naturalizadas como las introducidas han sido funcionales y eficientes en todos los sitios experimentales y a lo largo de todos los años de ensayo. La presencia de nódulos a profundidades superiores a 1 m sugiere que las bacterias han llegado hasta esta profundidad arrastradas posiblemente por el agua. Con la única excepción de Barrow, probablemente debido a su condición de suelo poco desarrollado por la presencia de tosca subsuperficial, los alfalfares de todos los otros sitios exhibieron nódulos funcionales -y en algunos casos abundantes-, aún a los cuatro años de implantados los cultivos.

De manera general, con el envejecimiento del cultivo comenzaron a hacerse evidentes problemas sanitarios en las raíces. Éstos parecieron ser mayores en los suelos que presentaban en profundidad una textura más arcillosa que en aquellos de textura más gruesa. Paralelamente, se advirtió en los suelos una gran actividad biológica, asociada con frecuencia a plagas y/o enfermedades de la alfalfa. A profundidades de 40 a 60 cm se observaron abundantes raíces muertas o en proceso de degradación, con evidencias de ataque -eventualmente secundario- de hongos. Las plantas cuyas raíces fueron dañadas por gorgojos o corchosis y no pudieron llegar a la napa, no presentaron nódulos grandes en la corona y, en general, carecieron de nódulos en todo el perfil. No obstante, también se hallaron algunas raíces totalmente enfermas de las cuales surgían una o pocas raicillas, usualmente muy finas, que portaban uno o pocos nódulos de buen tamaño (Figura 8).





**FIGURA 7-** Porcentajes de nódulos formados con cepas introducidas (marcadas con resistencia a antibióticos) respecto del total de nódulos encontrados a profundidades de 0-30 cm (gráfico superior) y >30 cm (gráfico inferior) en la primavera de 1993 (C1P), en el otoño de 1994 (C1O), en la primavera de 1994 (C2), en la primavera de 1995 (C3), en la primavera de 1996 (C4P) y en el otoño de 1997 (C4O) en cinco localidades de la Región Pampeana. Adaptado del Proyecto PRONALFA (13).



**FIGURA 8** – Raíz de alfalfa de 3 años de vida que, pese a sus evidentes signos de deterioro, presenta algunas raicillas con nódulos activos y de gran tamaño.

Si bien lo descrito en el último párrafo no es la situación común, y se acepta generalmente que las raíces enfermas generan menos nódulos que las sanas, las observaciones comentadas aportarían evidencias de que la duración de la simbiosis no sería la causa primera -y probablemente ni siquiera una importante- del decaimiento de los alfalfares y que la nodulación, como fenómeno biológico, se da aisladamente aún en plantas enfermas. Sin embargo, una raíz en estado sanitario deteriorado conlleva globalmente a una menor masa nodular y, como contrapartida, una raíz sana mantiene un sistema nodular activo y vigoroso hasta bien entrado el quinto año de vida del cultivo.

## Consideraciones finales

Como resumen de todo lo observado en el Proyecto PRONALFA puede decirse que tanto los rizobios preexistentes en el suelo (naturalizados) como los aportados por la inoculación, fueron capaces de formar nódulos funcionales y eficientes en todos los sitios experimentales y a lo largo del ciclo de cultivo. Se observó la presencia de nódulos activos en raíces creciendo hasta profundidades superiores a 1,10m. Las cepas aportadas por el inoculante formaron, en promedio, el 50% del total de los nódulos recolecta-

dos durante las dos primeras campañas y el 27% durante las dos últimas. Dentro de un amplio rango de producción anual de forraje, el promedio general de N derivado de la FBN representó el 53% del total de N utilizado por el cultivo. Cuando no se presentan limitaciones ambientales (especialmente sequías) muy marcadas, por cada 1000 kg de MS de alfalfa se incorporan aproximadamente 20 kg de N provenientes de la atmósfera. En ese contexto, la cantidad promedio de N derivado de la FBN, medida en relación con la biomasa aérea, fue de 235 kg de N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con máximos de 426 y mínimos de 113 kg de N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. La cantidad promedio de N derivado de la FBN, calculada en función de la biomasa total, aérea y radical, fue de 350 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con máximos de 639 y mínimos de 169 kg de N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (13).

En líneas generales, se puede concluir en que en la Región Pampeana el sistema de FBN en alfalfa funciona adecuadamente, aportando un porcentaje muy significativo del total del N requerido por el cultivo a lo largo de todo su ciclo de vida y, por lo tanto, favoreciendo la sustentabilidad del sistema agropecuario.

## Bibliografía

- 1- BALL, J. A. and G. TENEYCK. 1980. Top management on irrigated alfalfa produces top yields. *Better Crops Plant Food* 64: 16-19.
- 2- BICKOFF, E. M., G. O. KOHLER and S. SMITH. 1972. Chemecial Composition of Herbage. *In: C. H. Hanson (ed.) Alfalfa Science and Technology. Chapter 12. Agronomy Series N°15, ASA. Madison, WI, USA, pp. 247-282.*
- 3- COLLINO, D., J. DARDANELLI, M. de LUCA, and R. W. RACCA. 2005. Temperature and water availability effects on radiation and water use efficiencies in alfalfa. *Aust. J. Exp. Agric.* 45:383-390.
- 4- DA, H. N. and S. P. DENG. 2003. Survival and persistence of genetically modified *Sinorhizobium meliloti* in soil. *Applied Soil Ecology* 22: 1-14.
- 5- DEL PAPA, M. F., M. PISTORIO, L. BALAGUÉ, C. WEGENER, A. PERTICARI, K. NIEHAUS and A. LAGARES. 2003. A microcosm study on the influence of pH and the host plant on the soil persistence of different alfalfa-nodulating rhizobia. *Biology and Fertility of Soils* 39: 112-116.
- 6- DUSHA, I. 2002. Nitrogen control of bacterial signal production in *Rhizobium meliloti*-alfalfa symbiosis. *Indian J. Exp. Biol.* 40(9): 981-8.
- 7- GALIBERT, F. T. M. FINAN, S. R. LONG, A. PÜHLER, P. ABOLA, F. AMPE, F. BARLOY-HUBLER, M. J. BARNETT, A. BECKER, and P. BOISTARD. 2001. The composite genome of the legume symbiont *Sinorhizobium meliloti*. *Science* 293: 668-672
- 8- HEICHEL, G. H., C. P. VANCE, and D. K. BARNES. 1983. Symbiotic nitrogen fixation of alfalfa , birdsfoot trefoil and red clover. *In J. A. Smith and V.W. Hays (eds.) Proc. 14<sup>th</sup> Int. Grassl. Congr. Westview Press, Boulder, CO, USA, pp. 336-339.*
- 9- HEICHEL, G. H., C. P. VANCE, D. K. BARNES and K. I. HENJUM. 1984. Dinitrogen fixation, and N and dry matter partitioning during a four year alfalfa stand. *Crop. Sci.* 25: 101-105.
- 10- HIRSCH, A. M., M. R. LUM, and J. A. DOWNIE. 2001. What Makes the Rhizobia-Legume Symbiosis So Special? *Plant Physiol.* 127: 1484-1492
- 11- HOWARTH, R. E. 1988. Antiquality Factors and Nonnutritive Chemical Components. *In: A.A. Hanson, D.K. Barnes and R.R. Hill, Jr. (eds) Alfalfa and Alfalfa Improvement. Agronomy Series N° 29, Cap.15. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, pp. 493-514.*
- 12- PISTORIO, M., L. BALAGUÉ, M. F. DEL PAPA, A. PICH OTERO, A. LODEIRO, D. HOZBOR and A. LAGARES. 2002. Construction of a *Sinorhizobium meliloti* strain carrying a stable and non transmissible chromosomal single copy of the green fluorescent protein GFP-P64L/S64T. *FEMS Microbiol. Letters* 214: 165-170.
- 13- RACCA, R. W., D. COLLINO, J. DARDANELLI, D. BASIGALUP, N. GONZÁLEZ, E. BRENZONI, N. HEIN y M. BALZARINI. 2001. Contribución de la Fijación Biológica del Nitrógeno a la nutrición nitrogenada de la alfalfa en la Región Pampeana. ISBN 987-521-045-5. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina, 56 p.

- 14-RENNIE, R. J., E. A. RENNIE and M. FRIED. 1978. Concepts of <sup>15</sup>N usage in dinitrogen fixation studies. *In* Isotopes in Biological Dinitrogen Fixation Conference. IAEA, Viena, Austria.
- 15-ROMERO, N. A., C. BARIGGI y G. SCHENKEL. 1977. Exploración de deficiencias nutritivas para la alfalfa en suelos pampeanos mediante ensayos de campo. INTA Anguil. Proyecto FAO-INTA Argentina 75/006. Documento de Trabajo N° 3, 76 p.
- 16-ROSSANIGO, R., M. C. SPADA y O. BRUNO. 1995. Evaluación de cultivares de alfalfa y panorama varietal en la Argentina. *In* E. H. Hijano y A. Navarro (eds.) La alfalfa en la Argentina, Cap. 4. ISSN 0327-3377. INTA. Enc. Agro de Cuyo, Manual N° 11. Editar, San Juan, Argentina, pp. 63-78.
- 17-ROTH, R. L., B. GARNER, G. TRITZ, and E. LAKATOS. 1983. Alfalfa response to water and nitrogen variables. 13<sup>th</sup> California Alfalfa Symposium. Cal. Coop. Ext. Serv., University of California-Davies, USA.
- 18-STOUGAARD, J. 2000. Regulators and Regulation of Legume Root Nodule Development. *Plant Physiol.* 124: 531-540.
- 19-TIMMERS, A. C., E. SOUPENE, M. C. AURIAC, F. de BILLY, J. VASSE, P. BOISTARD, and G. TRUCHET. 2000. Saprophytic intracellular rhizobia in alfalfa nodules. *Mol. Plant Microbe Interact.* 13(11): 1204-13.
- 20-VANCE, C. P. 1978. Nitrogen fixation in alfalfa: an overview. *In* Proc 8<sup>th</sup> Annu. Alfalfa Symp., pp 34-41.
- 21-VANCE, C. P., G. G. HEICHEL, and D. PHILLIPS. 1988. Nodulation and Symbiotic Dinitrogen Fixation. *In* A.A. Hanson, D.K. Barnes and R.R. Hill, Jr. (eds) Alfalfa and Alfalfa Improvement. Agronomy Series N° 29, Cap. 7. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, pp. 229-257.



## Mejoramiento genético y desarrollo de variedades

*Ing. Agr. (PhD) Daniel H. Basigalup*  
EEA Manfredi - INTA





## Introducción

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es un cultivo perenne, de flores perfectas y fecundación preponderantemente alógama, favorecida por mecanismos de autoesterilidad y autoincompatibilidad (122). En condiciones naturales, la polinización es realizada por distintas especies de abejas y abejorros, que utilizan sofisticados mecanismos de desenlace floral. La alfalfa posee una extraordinaria variabilidad genética, enriquecida por la introgresión de las especies que conforman el «complejo *Medicago sativa*» (97), lo que le otorga una gran capacidad de adaptación a las más diversas condiciones de suelo, clima y manejo. Otra ventaja comparativa de la especie, desde el punto de vista de la evaluación de genotipos, es la facilidad para clonar individuos a partir del enraizamiento de trozos de tallo, utilizando comúnmente vermiculita como sustrato (Figura 1). El uso de sustancias promotoras del crecimiento radical no siempre es necesario para la obtención de buenos resultados; por el contrario, la elección de tallos sanos, vigorosos y en activo crecimiento, resulta un factor crítico y poco menos que imprescindible para conseguir altos porcentajes de enraizamiento.

Considerando su estructura genética, la alfalfa se define como polimórfica, con 8 cromosomas como número básico ( $x = 8$ ) y con formas diploides ( $2n = 2x = 16$ ) y tetraploides ( $2n = 4x = 32$ ). La naturaleza autotetraploide de la alfalfa cultivada determina la compleja herencia de sus caracteres y define los modelos genéticos sugeridos para la especie.

En este capítulo se tratarán brevemente las particularidades que la herencia tetraploide impone a la fitotecnia de la alfalfa y se describirán los principales métodos de mejoramiento empleados para el desarrollo de variedades. Un tratamiento más exhaustivo de estos temas podrá encontrarse en Busbice y col. (27), Rumbaugh y col. (102), Rodríguez (98) y Basigalup e Hijano (13). Finalmente, se resumirán los principales logros obtenidos en el mejoramiento de algunos caracteres específicos que revisten una destacada importancia económica.



**FIGURA 1** – Clones de alfalfa realizados a partir de trozos de tallo enraizados en vermiculita.

## Modelos genéticos autetraploides

Asumiendo la existencia de una población panmíctica en equilibrio y la segregación cromosómica al azar, Kempthorne (76) desarrolló el primer modelo autotetraploide para la alfalfa, basado en la presencia de cuatro posibles alelos ( $i, j, k, l$ ) por cada locus (A). En consecuencia, el valor genotípico de un determinado genotipo es el resultado de la clase y el número de alelos individuales presentes y todas sus posibles interacciones. Por ejemplo, el valor genotípico (VG) del genotipo  $A_i A_j A_k A_l$  se calcula de la siguiente manera:

$$VG_{A_i A_j A_k A_l} = a_i + a_j + a_k + a_l + b_{ij} + b_{ik} + b_{il} + b_{jk} + b_{jl} + b_{kl} + c_{ijk} + c_{ijl} + c_{ikl} + c_{jkl} + d_{ijkl}$$

Los efectos individuales de cada alelo (a) son llamados «efectos aditivos» y se comportan de la misma forma que en los modelos diploides. Las interacciones de primer orden (b) se denominan efectos digénicos y son análogos a los efectos heteróticos en un locus del modelo diploide. Las interacciones de segundo (c) y tercer (d) orden se denominan efectos tri y tetragénicos, respectivamente, y son propios de los modelos tetraploides.

Sobre la base del modelo anterior, y de acuerdo al número de alelos presentes en un locus determinado, existen cuatro posibles genotipos que se definen como mono, di, tri o tetraalélico; o sus equivalentes mono, di, tri o tetragénico. Si la definición se hace en base a la frecuencia de un solo alelo en un determinado locus, existen cinco posibles genotipos: nuliplex (0), simplex (1), duplex (2), triplex (3) y cuádruplex (4).

Hill (62) propuso un segundo modelo, basado en la suposición de que no haya más de dos alelos por locus, de manera que los efectos genéticos son el resultado de la frecuencia del alelo principal en cada genotipo. El VG del nuliplex es considerado como el efecto basal. La principal restricción reside en que la sumatoria de ambos alelos ( $p$  y  $q$ ) es igual a 1 ( $p + q = 1$ ). Sobre la base de los valores genotípicos, los efectos genéticos en este modelo se denominan aditivos (valor del alelo principal en un determinado genotipo) y di, tri y cuádrigénicos, según la interacción entre dos, tres o cuatro copias del alelo principal de un determinado genotipo.

La formulación de modelos genéticos es fundamental para estimar los componentes de las varianzas y covarianzas genéticas y sus interacciones con el ambiente. Esto constituye la base para estimar valores de heredabilidad de distintos caracteres, predecir respuestas a la selección, anticipar cambios de frecuencias génicas, predecir comportamientos de poblaciones con desequilibrios gaméticos y de ligamiento, e interpretar los efectos detrimentales de la endocría en alfalfa. Para un tratamiento más amplio de todos estos temas se recomienda consultar Rumbaugh y col. (102). De acuerdo con Levings y Dudley (79), la estimación de los componentes de la varianza genética en un autotetraploide puede hacerse utilizando cualquier diseño de apareamiento que no contemple el uso de la endocría. Una de las principales diferencias en el análisis genético entre autotetraploides y diploides radica en la interpretación de las covarianzas entre parientes (77). La evaluación clonal es particularmente útil para estimar la magnitud de la varianza ambiental y su interacción con la varianza genotípica, lo que constituye una herramienta interesante para realizar estudios genéticos y para mejorar caracteres de baja heredabilidad, con una significativa interacción genotipo\*ambiente.

Una particularidad de la alfalfa es su extrema sensibilidad a la endocría, que se manifiesta con una notable pérdida de vigor aun con bajos niveles de consanguinidad. Godeck (52) y Melton (89) observaron significativas reducciones de rendimiento de forraje y semilla con sólo unas pocas generaciones de autofecundaciones. La endocría puede producirse no sólo por la autofecundación del progenitor, sino también por el apareamiento de individuos autofecundados y/o relacionados entre sí (98). Busbice y Wilsie (26) han atribuido esta rápida depresión por consanguinidad a la pérdida de interacciones de segundo y tercer orden dentro de cada locus. Las implicancias de la consanguinidad en la predicción del rendimiento de variedades sintéticas en generaciones avanzadas han motivado varios trabajos (23, 24, 25). Finalmente, es importante tener en cuenta que la gameta diploide -propia de las especies tetraploides- es capaz también de mantener y transmitir un cierto nivel de endocría a través del polen o los óvulos, lo que ciertamente puede elevar el nivel de consanguinidad.

## ***Implicancias de la autotetraploidía en el mejoramiento de alfalfa***

Además de las cuestiones de genética cuantitativa planteadas en el punto anterior, el fitomejorador debe considerar en su trabajo otras implicancias prácticas derivadas de la naturaleza autotetraploide de la alfalfa. Seguidamente se tratarán en forma breve algunas de ellas.

A diferencia de lo que sucede en las especies diploides, en un cruzamiento de alfalfa el rango total de genotipos esperables se logra luego de al menos dos generaciones en panmixia. En ese contexto, las combinaciones genotípicas extremas se producen en muy baja frecuencia. En la práctica, esto significa que si el objetivo es identificar genotipos extremos, se deberá permitir la ocurrencia de un mínimo de dos generaciones de apareamientos al azar y se deberá evaluar un alto número de individuos (27).

Otra característica de los autotetraploides es que alcanzan el equilibrio gamético en forma asintótica. En condiciones de panmixia -y a diferencia de los diploides- los autotetraploides pierden en cada generación de apareamiento sólo dos tercios del desequilibrio gamético, debido a que la propia naturaleza de sus gametas impide la libre combinación de todos los alelos en una sola generación. En la práctica, se considera que el equilibrio gamético en la alfalfa se alcanza al cabo de al menos cuatro generaciones de panmixia (27).

Como ya se mencionara, la alfalfa es muy sensible a la endocria. Si bien existen trabajos que prueban la factibilidad de seleccionar genotipos adaptados a la autofecundación (101, 105), la situación común es que cuando se tiene éxito en la formación de vainas, éstas poseen un relativamente bajo número de semillas; usualmente, esta simiente es más pequeña que lo normal y origina plántulas de poco vigor. En la mayoría de los casos es muy difícil avanzar más allá de la segunda o tercera generación de autogamia. Dos de las implicancias prácticas de este fenómeno en la labor de fitomejoramiento pueden resumirse en estas cuestiones centrales: 1) la obtención de «líneas puras» o el desarrollo de líneas endocriadas para la obtención de híbridos son métodos de mejoramiento impracticables en la alfalfa, y 2) el desarrollo de variedades de alta producción de forraje y buena persistencia sólo se logra intercruzando progenitores no endocriados ni relacionados, a fin de no producir progenies consanguíneas que manifiesten posteriormente signos de depresión genética en los caracteres de importancia.

Cuando se selecciona por un solo gen dominante, como normalmente sucede en el mejoramiento de la resistencia a una plaga o enfermedad, la rapidez de la respuesta a la selección dependerá de la frecuencia inicial del gen en cuestión: a valores  $< 0,5$ , la respuesta es generalmente rápida y a valores  $> 0,5$ , la respuesta se hace lenta y poco perceptible; si la frecuencia es  $= 0,5$ , el 93% de los individuos de una población autotetraploide en equilibrio expresará el fenotipo dominante (98). Por otro lado, si la frecuencia del gen dominante es muy baja o si el carácter a mejorar está condicionado por un gen recesivo, se debe prestar particular atención a la detección y selección de solamente los genotipos deseables, dado que la inclusión de genotipos indeseables («escapes») puede retrasar notoriamente el progreso de la selección (27).

Otra de las implicancias prácticas de la autotetraploidía en el mejoramiento de la alfalfa se relaciona con la introgresión de transgenes para el desarrollo de cultivares comerciales genéticamente modificados. La típica variedad transgénica de una especie diploide posee un transgen proveniente de un único evento de transformación, que

está presente en condición hemigota en una única ubicación en el genoma (ejemplo: A-). La forma de incorporar ese material transgénico ( $T_0$ ) en los programas de mejoramiento es retrocruzarlo con líneas elite y luego autofecundar esas plantas hasta alcanzar la homocigosis (AA); si esas líneas homocigotas son usadas para la producción de híbridos  $F_1$  o cultivares, la totalidad de las plantas resultantes de esos cruzamientos tendrán el fenotipo transgénico (A- o AA). Por el contrario, en la alfalfa -debido a su condición autotetraploide- la obtención de índices relativamente altos (> 90%) de transmisión del transgen requiere del inter cruzamiento de genotipos parentales que posean ese transgen en condición duplex (AA—), triplex (AAA-) o cuatriplex (AAAA). En consecuencia, se hace necesaria la utilización de pruebas de progenie que permitan la identificación de individuos que compartan el mismo fenotipo transgénico. Además del mayor trabajo que supone esta situación, la selección y las pruebas de progenie incrementan el riesgo de generar una significativa depresión por endocría o deriva genética (103). Una alternativa para superar estas dificultades y maximizar la expresión de caracteres transgénicos en autoploiploides, es el uso de marcadores moleculares y de plantas «multihomogénicas»: individuos con más de una copia del transgen en varios loci independientes dentro del genoma (85). El tema será tratado con más detalle en la siguiente sección (Incorporación de transgenes).

## Mejoramiento genético

### *Implementación de un programa de mejoramiento genético*

Previo al inicio de las tareas de evaluación y selección de genotipos, el fitomejorador deberá analizar cuidadosamente una serie de cuestiones que impactará en el curso de su trabajo y en el resultado final de su programa de mejoramiento. Todo eso, ensamblado eficientemente, definirá el contexto en el que desarrollará su labor.

Una cuestión fundamental es definir los objetivos del programa de mejoramiento, que deben ser claros y alcanzables en un plazo razonable y en función de la infraestructura disponible. Los objetivos de un programa de mejoramiento pueden ser generales y/o específicos, estableciendo el fitomejorador un orden de prioridad para llevarlos a cabo. Por ejemplo, puede implementarse un programa de mejoramiento que tenga como objetivo general elevar la calidad forrajera de la alfalfa, y como objetivos específicos disminuir la cantidad de fibra (FDA, FDN y lignina) y elevar el contenido de proteína bruta (PB) y carbohidratos solubles. El fitomejorador deberá luego establecer si seleccionará simultáneamente por todos esos caracteres en cada ciclo de selección, o si trabajará escalonada e independientemente con cada uno de ellos, estableciendo en cada caso sus prioridades.

Si el caso fuera mejorar un conjunto de caracteres en una determinada población de plantas, es aconsejable tratar de mejorar primero aquellos caracteres que parecen más deficitarios, para concentrarse luego en elevar las relativamente buenas características que pudieren estar ya presentes (99). Una buena descripción de los objetivos más comúnmente presentes en el mejoramiento genético de la alfalfa podrá encontrarse en Rodríguez (98).

Cualesquiera que sean los caracteres a mejorar, debe existir un adecuado nivel de variabilidad genética para cada uno de ellos. El supuesto fundamental para la concreción de un proceso de selección es la existencia de variabilidad genética que sea hereda-



ble. Los métodos de mejoramiento tradicionales hacen uso de la variabilidad genética naturalmente presente en el cultivo en cuestión y/o en sus especies relacionadas. Si la variabilidad del carácter fuera nula o no detectable, o ese carácter no estuviera naturalmente presente en el cultivo a mejorar, esa variabilidad deberá crearse. Esto se puede hacer mediante la inducción de mutaciones o el uso de técnicas biotecnológicas, como el aprovechamiento de la variación somaclonal o la producción de transgénicos. El empleo de agentes mutagénicos, muy en boga hace unas décadas, ha caído prácticamente en desuso. Por el contrario, la utilización de la biotecnología adquiere cada vez más preponderancia. Un tratamiento completo de este tema se ofrece en el Capítulo 6.

Entre otras cuestiones puramente técnicas que el fitomejorador debe definir, se encuentran las designaciones del método de mejoramiento a emplear, las unidades de selección, el tamaño de la población a conducir, la intensidad de la selección y el grado de mejoramiento esperado (102). Ciertamente que si se contara con información previa sobre la heredabilidad de los caracteres a mejorar, el peso relativo de los efectos genéticos y la magnitud de la interacción genotipo\*ambiente, la definición de los temas anteriormente mencionados se vería facilitada. Por ejemplo, para caracteres cualitativos y de alta heredabilidad, la utilización de la selección masal o de la selección fenotípica recurrente sería suficiente. Para caracteres cuantitativos, usualmente de baja heredabilidad y muy influenciados por el ambiente, la realización de pruebas de progenie podría ser aconsejable, ya sea *per se* o alternada con otros métodos de mejoramiento. Un comentario similar podría efectuarse respecto de la unidades de selección (plantas individuales, familias, o combinación de ambas).

Respecto del material básico de selección a utilizar en el programa de mejoramiento, resulta obvio mencionar que la elección de materiales con alto potencial de rendimiento y adecuada adaptación constituye un paso inicial de capital importancia para el desarrollo de variedades mejoradas. Todos los programas destinados a la obtención de variedades comerciales utilizan como base de sus bancos activos germoplasmas elite, con destacados atributos agronómicos como alto rendimiento de forraje, buena persistencia, resistencia a plagas y enfermedades y apropiado grado de reposo invernal. Complementariamente, las colecciones de germoplasma exótico se emplean sólo como fuente de alelos raros o poco frecuentes en los materiales de los bancos activos, especialmente cuando se quieren resolver nuevos problemas sanitarios o mejorar caracteres no tradicionales o con poca variabilidad. En ese sentido, el uso de la colección base de germoplasma de alfalfa de los Estados Unidos se ha visto favorecido por la designación de una «colección núcleo» (core collection), que consistió en la identificación de unas 200 accesiones destinadas a representar, con un mínimo de repetitividad, la mayor parte de la variabilidad genética presente en una colección de más 1.100 entradas (12). La evaluación de la colección núcleo puede orientar la búsqueda de alelos favorables en aquellos caracteres de evaluación costosa o compleja; de ese modo, si esos alelos se detectaran en algunas accesiones, se podrá luego intensificar la evaluación de las otras accesiones en la colección base que sean de idéntica o similar procedencia. Por otra parte, Gepts (47) sugirió el empleo de las colecciones núcleo para la identificación de marcadores moleculares.

Otro de los temas fundamentales que el fitomejorador deberá precisar es la infraestructura con la que cuenta para llevar a cabo su trabajo. La disponibilidad de campo experimental, de herramientas y equipamiento, y de recursos humanos y financieros debe ser la adecuada para la consecución de los objetivos planteados en el programa de mejoramiento. En otros casos, además de lo anterior, puede ser necesario contar tam-

bién con laboratorios e invernáculos. Teniendo en cuenta que el tiempo promedio que va desde el inicio de la evaluación y selección del material de crianza hasta el lanzamiento de un cultivar es de 8 a 10 años, es importante que la infraestructura esté en condiciones operativas durante todo el proceso. Por otro lado, también debe tenerse en cuenta que la selección y síntesis de nuevas variedades se hace generalmente en las áreas de uso de esos materiales, las que suelen presentar condiciones desfavorables para la producción de semilla; en consecuencia, es aconsejable que el fitomejorador cuente también con lotes de multiplicación de sus poblaciones avanzadas y/o de semilla básica (breeder) en zonas apropiadas, donde las condiciones ambientales posibiliten altos rendimientos de semilla. De esta manera, podrá contar con la suficiente cantidad de simiente para la implantación de ensayos de evaluación en varias localidades. Obviamente, la multiplicación de esos materiales avanzados se hará con el necesario aislamiento y las adecuadas restricciones en cuanto a los años de cosecha de los lotes, a fin de asegurar la identidad genética de las poblaciones.

### ***Métodos de mejoramiento***

Los métodos de mejoramiento constituyen diferentes modos de combinar técnicas y unidades de selección con el posterior manejo de los genotipos seleccionados. En esta sección se ofrecerá simplemente una somera descripción de aquellos métodos más comúnmente utilizados en el desarrollo de variedades de alfalfa. Para una mejor ilustración general del tema se recomienda consultar Fehr (45) y para una descripción más específica y aplicada a la alfalfa se sugiere leer Rumbaugh y col. (102) y Basigalup e Hijano (13).

Los métodos de mejoramiento, a fin de facilitar su descripción, pueden clasificarse de acuerdo con distintos criterios. En este capítulo se seguirá el criterio adoptado por Rumbaugh y col. (102), que los agrupan según sistemas de apareamiento (intra o interpoblacionales) y unidades de selección (individuos o familias). En el Cuadro 1 se ofrece el listado de los métodos que más frecuentemente se han utilizado en el mejoramiento de alfalfa. Es importante tener en cuenta que esta clasificación es conveniente sólo a los fines de facilitar la comprensión de las particularidades de cada método, pero que de ningún modo supone su mutua exclusión. En ese contexto, el fitomejorador deberá decidir si, para ser más eficiente en su trabajo, combinará o no dos o más métodos diferentes.

La **formación de poblaciones** es en realidad un término general que incluye cualquier forma de construcción y enriquecimiento poblacional que, usualmente a través de cruzamientos amplios y posterior selección, busca elevar la frecuencia de genes favorables para los caracteres de interés (119). El retrocruzamiento se ha utilizado en alfalfa para corregir alguna deficiencia, generalmente susceptibilidad a una plaga o enfermedad, en materiales agrónomicamente muy valiosos. Se trata de un proceso iterativo en el que -en cada ciclo- las plantas selectas se retrocruzan con individuos del padre recurrente, a efectos de obtener su fenotipo original pero con el carácter a mejorar ya incorporado. En alfalfa, a fin de disminuir el riesgo de endocria, se debe tener la precaución de utilizar plantas diferentes en cada ciclo (111). Si bien es un método esencialmente conservador, es probable que en el futuro cercano su empleo se vea favorecido por la necesidad de incorporar a poblaciones elite los caracteres generados por la biotecnología.

Como ya se mencionara anteriormente, el desarrollo de líneas endocriadas de alfalfa

para la obtención de **híbridos** que capitalicen las acciones génicas no aditivas, es sumamente difícil debido a la marcada depresión por endocria que la especie manifiesta. Como alternativa, se propuso la propagación vegetativa (clones) de genotipos seleccionados y su posterior apareamiento para formar «híbridos» simples y dobles (22); sin embargo, el costo y el esfuerzo que demandan este procedimiento lo hicieron comercialmente impracticable. El uso de androesterilidad citoplásmica, sugerido por Davies y Greenblatt (36) y por Bradner y Childers (20), tampoco dio los resultados esperados; además, la herencia autotetraploide complica el empleo de genes restauradores de la fertilidad. Por otro lado, Barnes y col. (6) concluyeron que la autoincompatibilidad en la alfalfa no era un mecanismo lo suficientemente confiable para el control de la polinización en la obtención de híbridos. Entre algunas alternativas para maximizar la heterosis en alfalfa (16, 17), Brummer (21) propuso la obtención de semihíbridos. Este método, basado en el desarrollo y el mantenimiento de dos grupos heteróticos, debe su nombre a que –una vez que los grupos se aparean- la mitad de la progenie es el resultado de cruzamientos interpoblacionales y la otra mitad de cruzamientos intrapoblacionales. Más recientemente, una empresa estadounidense ha desarrollado algunos materiales con diferentes grados de hibridez (121).

La **evaluación clonal**, que puede ayudar a la identificación de genotipos superiores cuando se trabaja con caracteres de baja/mediana heredabilidad y con una importante interacción genotipo\*ambiente, ha caído prácticamente en desuso por su alto costo y por la cantidad adicional de trabajo que demanda. Además, la clonación altera el normal desarrollo de las raíces, lo que impide su utilización en la evaluación de caracteres radiculares.

Las **pruebas de progenie** tienen por finalidad la identificación de genotipos superiores a través de la evaluación de su descendencia. Una vez identificados, los genotipos parentales selectos (no su descendencia) son intercruzados para producir la siguiente generación de selección. Todas las pruebas de progenie requieren al menos una generación extra por cada ciclo de selección y una considerable cantidad de recursos (particularmente los cruzamientos dialélicos y el topcross), por lo que -en general- se reservan para estudios genéticos (estimación de la aptitud combinatoria general o específica) o para el mejoramiento de caracteres especia-

**CUADRO 1** – Clasificación de los métodos de mejoramiento más utilizados en alfalfa según sistemas de apareamiento (A y B) y unidades de selección (a y b). Adaptado de Rumbaugh y col. (102).

Métodos de mejoramiento de alfalfa	
A- Interpoblacional	B- Intrapoblacional
1- Formación de poblaciones 2- Variedades Sintéticas/Sintéticos 3- Retrocruzamientos 4- Cruzamientos Complementarios de Cultivares 5- Híbridos	<i>a- Selección de plantas individuales</i>  1- Selección Masal/Fenotípica recurrente 2- Evaluación Clonal 3- Pruebas de Progenie: i) Polinización Abierta ii) Autofecundación ( $S_1$ ) iii) Topcross iv) Policruza v) Cruzamientos Dialélicos  <i>b- Selección de familias</i>  1- Familias de medio - hermanos 2- Familias de hermanos completos 3- Selección dentro de familias 4- Selección combinada

les, de baja heredabilidad y/o muy influenciados por el ambiente. La diferencia fundamental de la **selección de familias** respecto de los métodos de mejoramiento intrapoblacional con evaluación de progenie radica en las unidades de selección: en este caso las mejores progenies (no los genotipos parentales) son intercruzados para producir la siguiente generación en el proceso de mejoramiento. La selección de familias, sea de medio-hermanos o de hermanos completos, es más efectiva que la selección masal para mejorar caracteres cuantitativos (102). En el caso de la selección dentro de cada familia, la diferencia estriba en que sólo los mejores individuos dentro de cada familia son seleccionados para intercruzarse y producir la siguiente generación de selección. La selección combinada complementa la selección entre familias con la elección de individuos dentro de cada familia selecta.

En general, los métodos de mejoramiento anteriormente descriptos no son muy empleados en el desarrollo de variedades de alfalfa, a excepción de algunas particularidades planteadas en cada caso. En la actualidad, la gran mayoría de los programas de mejoramiento destinados a la obtención de variedades comerciales utiliza la producción de variedades sintéticas, el cruzamiento complementario de cultivares y/o la selección fenotípica recurrente. Seguidamente, se ofrecerá una breve descripción de cada uno de ellos.

**Variedades sintéticas** – Busbice (24) definió a una variedad sintética de alfalfa como «un cultivar producido por el libre apareamiento de varios progenitores, de manera tal que cada posible cruzamiento tenga igual probabilidad de ocurrencia». El concepto de variedades sintéticas fue originalmente sugerido para maíz y supone, como requisito para la elección de los progenitores, el desarrollo de pruebas de progenie para determinar su aptitud combinatoria general. En alfalfa, Tysdal y Crandal (118) propusieron el uso de las pruebas de progenie de policruza para la estimación de la aptitud combinatoria de los clones a seleccionar como progenitores de la nueva variedad. No obstante, los programas actuales de mejoramiento han eliminado la determinación de la aptitud combinatoria, atendiendo a la mayor demanda de tiempo y recursos que implica su implementación. En ese contexto, la elección de los progenitores de la nueva variedad se basa solamente en una valoración fenotípica de aquellos caracteres considerados agrónomicamente importantes, como el rendimiento, la persistencia, el vigor, la resistencia a insectos y/o enfermedades, el reposo invernal, la calidad forrajera, etc. En consecuencia, el proceso de formación de una variedad sintética se limita a la selección de los individuos progenitores (*Sin 0*) y su posterior intercruzamiento para la producción de la semilla *Sin 1*; seguidamente, la semilla *Sin 1* es utilizada para la producción de la semilla *Sin 2*; y así sucesivamente. Vale decir que una variedad sintética, o simplemente «sintético» como también suele denominarse, es un conjunto de infinitos genotipos con un alto grado de uniformidad fenotípica que se mantiene a lo largo de las generaciones. De esta manera, se permite la expresión de un buen nivel de heterosis al tiempo que se conserva una apreciable variabilidad genética. Obviamente, esto último dependerá del número de progenitores utilizados y del grado de consanguinidad entre ellos. En este sentido, se suele hacer una distinción arbitraria y no muy precisa entre sintéticos de «base angosta» (< 100 progenitores) y de «base amplia» (> 100 progenitores). Debe tenerse en cuenta que el rendimiento de forraje de una variedad sintética decrece a medida que avanzan las generaciones de síntesis -especialmente entre la *Sin 1* y la *Sin 2* (75)- hasta alcanzar un equilibrio alrededor de la *Sin 4* o *Sin 5*. Atendiendo a que éstas

últimas constituyen usualmente la semilla comercial que llega al productor, sería deseable que las redes de evaluación de variedades incluyeran al menos una generación de esa semilla comercial, a fin de reflejar el verdadero comportamiento de una variedad en las condiciones reales de producción. La tasa de disminución del rendimiento de un sintético depende no sólo de la generación de síntesis sino también del número de padres utilizados, de su grado de consanguinidad y de la cantidad de autofecundaciones que se produzcan durante el proceso de multiplicación de la semilla (23). En ese sentido, los sintéticos de base amplia deberían ser más estables en generaciones avanzadas que los de base angosta; sin embargo, Busbice y Gurgis (25) concluyeron que el uso de sólo 16 progenitores no emparentados ni endocriados debería ser suficiente para reducir a un mínimo la endocría de una variedad sintética en el punto de equilibrio. Por su parte, Hill (62) sugirió que los fitomejoradores deberían enfatizar el alto potencial de rendimiento de los progenitores más que sus posibilidades de combinación, dado que a partir del uso de 4 individuos parentales la ganancia adicional aportada por la combinación de éstos se reduce a un mínimo.

**Cruzamientos complementarios de cultivares** – El objetivo es reunir en una sola población las buenas características de dos o más fuentes de genes interesantes (cultivares, ecotipos, germoplasmas, accesiones, etc.). Para ello, se combinan plantas individuales o semillas de cada fuente de forma tal que se produzca la mayor cantidad de cruzamientos posibles entre ellas. Los policruzamientos pueden hacerse en forma manual o natural (polinizadores); en este último caso se han utilizado con éxito las jaulas de polinización, la siembra o trasplante en hileras alternadas bajo condiciones de aislamiento, y el uso de grillas especialmente diseñadas. Las poblaciones resultantes, una vez en equilibrio, pueden utilizarse directamente como cultivares comerciales o como fuentes de germoplasma (44). Este método de mejoramiento tiene las ventajas de su fácil implementación y de permitir la expresión de un grado considerable de heterosis, en particular cuando las fuentes génicas que se utilizan no están relacionadas ni endocriadas (61). Bingham (16, 17) propuso que, para maximizar la heterosis, se utilizara un esquema de doble cruzamiento [(A x B) x (C x D)] entre 4 cultivares o fuentes no emparentados, calculando que en la *Sin 3* el 50% de los individuos debería ser el resultado del doble cruzamiento, expresando así el máximo grado de heterocigosis. Por otro lado, Busbice y col. (27) demostraron que si cruzan dos poblaciones que difieran en un gen dominante en distintos loci y con una frecuencia de 0,5 cada uno, al alcanzar el equilibrio la población resultante tendrá el 46,7% de individuos con ambos genes dominantes, el 43,3% con uno de ellos, y sólo el 10% con ninguno de los dos. Esto es especialmente importante para el mejoramiento de niveles de resistencia a plagas y enfermedades, dado que se trata de caracteres cualitativos comúnmente condicionados por genes dominantes.

**Selección fenotípica recurrente** – Se trata de un refinamiento de la selección masal, donde los individuos son primero seleccionados por su fenotipo y luego interpolinizados para producir la siguiente generación de selección. Estos pasos se repiten de manera cíclica o recurrente tantas veces como sea necesario, hasta que se aumente la frecuencia de los alelos favorables y se alcance el nivel de mejoramiento propuesto (42, 43, 55). El método está particularmente indicado para la obtención de poblaciones con resistencia combinada a plagas y enfermedades de la alfalfa (102), dado que posibilita una gran presión de selección y complementa el corto intervalo generacional de la especie con un esquema cíclico de selección (53, 63). De esa manera, se pueden evaluar grandes poblaciones de plantas y seleccionar un número relativamente alto de progenitores para producir la siguiente generación de selección, lo que es importante para el mantenimiento



de bajos niveles de endocría. Sobre esto último, se ha sugerido que en alfalfa deberían policruzarse en cada ciclo no menos de 75 individuos (1, 64). La selección fenotípica recurrente, al igual que la selección masal, es más efectiva para el mejoramiento de caracteres cualitativos y de alta heredabilidad; no obstante, también ha sido usada con buenos resultados en especies forrajeras para la mejora del rendimiento y de otros caracteres cuantitativos (117). Para su empleo exitoso, es fundamental mantener una adecuada presión de selección (98). Como lo señalan Hill y Haag (63), las complicaciones que pueden aparecer con la utilización de este método se relacionan con baja frecuencia inicial de los genes de interés, baja heredabilidad del carácter en cuestión, y elevado valor de la varianza ambiental.

### ***Incorporación de transgenes***

Como ya fue mencionada, la naturaleza autopoliploide de la alfalfa plantea una problemática muy especial en lo referente a la incorporación de transgenes en los programas de mejoramiento y en el desarrollo de variedades comerciales. De acuerdo con Samac y Temple (103), la obtención de un nivel suficientemente alto de expresión de un carácter transgénico (> 90-95%) en alfalfa requeriría el uso de individuos que tuvieran un evento particular en condición duplex, triplex o cuatriplex. Si bien tales individuos podrían desarrollarse a partir de ciclos de selección recurrente fenotípica, no existen en la actualidad técnicas de laboratorio lo suficientemente precisas y potentes como para discriminar plantas que posean dosis variadas (A —, AA—, AAA- o AAAA) de un transgen en un locus determinado. En consecuencia, se torna imprescindible el empleo de pruebas de progenie, que —como fuera dicho previamente— aumentan el riesgo de generar poblaciones endocriadas, como consecuencia de la reducción de la base genética de los materiales de cría.

A fin de superar estos problemas, McCaslin y col. (85) propusieron un método de mejoramiento basado en la selección asistida por marcadores moleculares, que permite no sólo ahorrar recursos sino fundamentalmente lograr un alto grado de expresión del carácter. El método utiliza plantas «multi-homogénicas», término que describe la presencia de más de una copia de un transgen particular en varios loci independientes a lo largo del genoma de una planta individual (103). Las plantas que poseen al menos una copia de un transgen determinado provenientes de dos eventos independientes se denominan «dihomogénicas». Por ejemplo, una planta que tenga un transgen en la condición simplex en el locus A y duplex en el locus B se denomina «dihomogénica 1,2», vale decir que su genotipo es A—BB—. Esas plantas dihomogénicas son luego utilizadas en un proceso de selección genotípica recurrente para introgresar el carácter transgénico de interés en el material de cría.

El método descrito fue utilizado con éxito en el desarrollo de poblaciones de alfalfa con resistencia al herbicida Roundup (alfalfa RR) (114). En este caso concreto se utilizaron cuatro líneas experimentales de alfalfa, cada una conteniendo una copia simple del transgen RR provenientes de cuatro eventos independientes (A, B, C y D). Para cada una de ellas se determinó la posición de la inserción mediante una tecnología PCR evento-específica, donde un *primer* se fusiona con una secuencia del flanco dentro de la región 5' o 3' del transgen, mientras que el otro primer se fusiona con la región del flanco correspondiente al genoma de la planta. De esta manera se pudieron evaluar miles de plantas transgénicas, hasta identificar los genotipos dihomogénicos adecuados que se utilizaron como parentales en cada generación de síntesis a través de un proceso de

selección genotípica recurrente. Complementariamente, se desarrolló un modelo computarizado para predecir la pureza y la herencia del transgen dominante para un sistema autotetraploide con dos eventos independientes de transformación (85).

### Protocolos de selección

Los protocolos de selección son la combinación de procedimientos de laboratorio, invernáculo, cámara de cría y/o campo que permiten una adecuada evaluación de los caracteres a mejorar, a fin de proceder a la identificación y selección de los genotipos que reúnan las cualidades buscadas (Figura 2). La finalidad es reproducir las mejores condiciones ambientales para que el carácter que se busca mejorar pueda ser rápida y eficazmente evaluado, evitando los escapes (genotipos no deseados pero incluidos entre los selectos). Además de efectivo y preciso, un protocolo ideal debe ser sencillo, estable, reproducible y objetivo. Por otro lado, si las condiciones lo requirieran, debería permitir también la evaluación de un gran número de genotipos en un plazo de tiempo razonable y adecuado. Cuando deban utilizarse condiciones de ambiente controlado (laboratorio, invernáculo o cámara de cría) es fundamental que exista una suficientemente alta correlación entre el comportamiento de los genotipos seleccionados bajo esas condiciones y su posterior comportamiento a campo. Complementariamente, se debe determinar si el carácter en cuestión se expresa de la misma forma en los distintos estadios fenológicos de la planta.



**FIGURA 2** – Ejemplos de protocolos de selección usados en el programa de desarrollo de variedades de alfalfa de INTA Manfredi. Selección por resistencia a pulgones en ambiente controlado: (a) cría de pulgones en tallos de alfalfa susceptible; (b) plántulas listas para ser infestadas y (c) genotipos resistentes. Selección por resistencia a fitofthora en condiciones de campo (d). Elementos usados en la técnica de la bolsa de nylon modificada para selección in situ (novillos fistulados) por tolerancia a empaste (e).

La North American Alfalfa Improvement Conference (93) publica la serie completa de pruebas estandarizadas que se han establecido para la caracterización de los niveles de resistencia a las principales plagas y enfermedades de importancia económica. Allí se especifican las condiciones de cultivo de patógenos o de cría de insectos, las condiciones ambientales de las pruebas y los testigos (cultivares o líneas experimentales) resistentes y susceptibles a emplear en cada caso. También se incluyen las especificaciones para la caracterización de varios caracteres agronómicos, tales como grado de reposo

invernal, tolerancia al pastoreo, resistencia al frío, calidad forrajera, hojas multifolioladas, etc. Para la implementación de un programa de mejoramiento se pueden tomar esas indicaciones como referencia, seleccionando e intercrucando los genotipos resistentes.

En la bibliografía existen también muchos otros protocolos de selección para el mejoramiento de otros caracteres de importancia, citándose a continuación algunos ejemplos. Goplen y col. (49) describieron la técnica *in situ* de la bolsa de nylon modificada para la identificación de las plantas con menor velocidad inicial de desaparición ruminal en la búsqueda de tolerancia al timpanismo o empaste. Lamb y col. (78) publicaron métodos para la caracterización morfológica de raíces en alfalfa, sugiriendo estandarizar no sólo la edad de la planta y las prácticas culturales sino también las condiciones ambientales para evaluar el diámetro de la raíz pivotante, el número de raíces laterales/secundarias y la masa de raíces fibrosas. Dall'Agnol y col. (35) compararon diferentes técnicas de evaluación y selección para el desarrollo de germoplasmas de alfalfa tolerantes a suelos ácidos y con niveles tóxicos de aluminio. Smith (108), entre otros autores, ha sugerido un método para la identificación de plantas de alfalfa tolerantes a la salinidad.

### ***Selección por más de un carácter***

Es posible que un programa de selección tenga como objetivo mejorar un solo carácter excluyente, pero por lo común -y especialmente cuando se quieren desarrollar cultivares comerciales- se debe seleccionar por dos o más caracteres de importancia. Para ello se han diseñado las llamadas «técnicas de selección para caracteres múltiples», que en el caso de la alfalfa se dividen básicamente en tres: a) niveles independientes de selección; b) selección en tándem, y c) selección por índices (27, 102). Cada una de ellas se complementa con los métodos de mejoramiento descritos previamente, en especial, con la selección recurrente fenotípica.

***Niveles independientes de selección*** - Se establecen niveles a alcanzar para cada carácter incluido en el programa y se retienen, en el mismo ciclo de mejoramiento, todas las unidades de selección (plantas individuales o familias) que satisfagan esos niveles prefijados. Por ejemplo, si se quisieran mejorar los caracteres A, B y C, se puede comenzar seleccionando las plantas que alcancen el nivel establecido para A; luego, de esas plantas, se eligen las que satisfagan el nivel para el carácter B; y finalmente, de esas selectas, se retienen las que alcancen el nivel establecido para el carácter C. Las plantas selectas por los tres caracteres son finalmente intercrucadas para producir la siguiente generación de mejoramiento o ciclo de selección. A fin de reducir las posibilidades de consanguinidad, es fundamental partir con una elevada población inicial de plantas, en especial si la frecuencia de alelos favorables es de moderada a baja. Una variante de este procedimiento, empleada para el desarrollo de resistencia múltiple a insectos y enfermedades, se denomina eliminación sucesiva y consiste básicamente en exponer a la siguiente plaga/enfermedad los individuos sobrevivientes de la plaga/enfermedad anterior, y así sucesivamente.

***Selección en tándem*** - Se realizan tantos ciclos o generaciones de selección como sean necesarios hasta alcanzar el nivel preestablecido para el carácter A. Con los individuos de la población experimental mejorada para ese primer carácter (A), se comienza a mejorar -de la misma forma- el carácter B. Seguidamente, con esa nueva población mejorada para los caracteres A y B, se comienza a seleccionar por el carácter C. Y así de

manera sucesiva hasta desarrollar una población mejorada para todos los caracteres de interés.

**Selección por índices** - Se definen los caracteres a mejorar y se establece una escala para cada uno de ellos. Seguidamente, se calcula un índice final para cada unidad de selección, ponderado por la importancia genética y/o económica de cada carácter. En ese contexto, sólo las unidades de selección que alcancen ese índice ponderado son retenidas e intercruzadas para producir la semilla de la siguiente generación de selección. Este procedimiento es más efectivo cuando se trabaja con caracteres de alta heredabilidad y que, a su vez, tienen una moderada a alta correlación genética entre sí (98). Harris (56, 57) sugirió el uso de poblaciones grandes (1000 individuos) para minimizar los errores en la estimación de las ganancias esperadas con el empleo de índices de selección.

**Comparación entre las técnicas de selección para caracteres múltiples.** De acuerdo con Hazel y Lush (59), la selección por índices es más eficiente que la selección por niveles independientes, y ésta, a su vez, es más eficiente que la selección en tándem. La superioridad de la selección por índices se incrementa cuanto mayor es el número de caracteres a mejorar, pero disminuye cuando los caracteres difieren en importancia o cuando se debe incrementar la intensidad de selección. Si los caracteres a mejorar tienen igual importancia, y los valores de sus varianzas y heredabilidades son similares, la selección por niveles independientes es más efectiva que la selección en tándem (102); sin embargo, esta última es menos demandante en recursos e infraestructura. Es obvio que el fitomejorador deberá definir su curso de acción basado no sólo en las cuestiones estrictamente técnicas sino también en sus condiciones reales de trabajo (recursos, infraestructura, etc.) y en las particularidades de los caracteres a mejorar (momento de expresión del carácter, requerimientos ambientales, etc.).

## Mejoramiento por caracteres específicos

A continuación se ofrecerá una reseña de los adelantos producidos en los últimos años sobre el mejoramiento de algunos caracteres agronómicos, con especial énfasis en la descripción de las técnicas de selección.

**1- Tolerancia a la acidez y/o aluminio (Al).** La existencia de suelos ácidos se puede deber fundamentalmente a dos causas: a) la propia naturaleza ácida de los materiales que dieron origen al suelo, asociado a su bajo contenido en cationes básicos como  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{++}$ ; o b) el lavado o lixiviación de esos cationes básicos, por erosión o uso excesivo, que reducen la capacidad buffer de ese suelo. La fertilización amoniacal, por la nitrificación que desencadena, acelera el proceso de acidificación. A medida que el pH decrece, el Al se solubiliza hasta alcanzar valores fitotóxicos en la solución del suelo; paralelamente, elementos como P, N, Ca, Mg y K se tornan menos disponibles para las plantas. Además, en el caso específico de la alfalfa, la acidificación del suelo resiente la fijación simbiótica del  $\text{N}_2$ , dado que los rizobios son sensibles a la acidez. La acción fitotóxica del Al se centra principalmente en el ápice de la raíz, inhibiendo la división y/o la elongación celular, lo que –a su vez– resiente el desarrollo radical y paraliza la formación de raíces secundarias, afectando la captación de agua y de nutrientes. El Al también altera una serie de procesos fisiológicos y bioquímicos, interfiriendo en el funcionamiento celular y en la síntesis metabólica de numerosos compuestos (104).



Taylor (113) propuso dividir las estrategias para la búsqueda de tolerancia al Al de las plantas en dos grandes grupos: a) mecanismos que excluyen el Al del ápice radical; y b) mecanismos que permiten a la planta tolerar el Al dentro de las células. Las estrategias del primer grupo se basan en el hecho de que los individuos tolerantes de algunas especies exudan ácidos orgánicos -como citratos, oxalatos, malatos y succinatos- que quelan el Al y lo excluyen del ápice radical (82, 83, 84). Se han descrito también otros mecanismos de exclusión del Al, como la mutante *alr-104* de *Arabidopsis* que aumenta el influjo de H<sup>+</sup> hacia el ápice radical, lo que aumenta el pH de la zona rizosférica y hace precipitar el Al en la solución del suelo, tornándolo no disponible para la raíces (37). En otros casos, se ha sugerido que el mucílago del capuchón radical contribuye a formar una barrera que impide al ápice tomar contacto con el Al (60, 80). Dentro de las estrategias del segundo grupo, si bien no han sido tan estudiadas como las del primero, se han descrito casos en los que el Al es secuestrado por ligantes orgánicos (catequinas, ácidos fenólicos, etc.), formando complejos que se acumulan en células especializadas de la epidermis de las hojas (71) o en las vacuolas de células de la raíz (120).

Se han propuesto diferentes métodos para evaluar la tolerancia al Al en muchas especies de importancia agronómica. Gran parte de ellos miden la inhibición del crecimiento radical, la acumulación de Al dentro de la raíz, o la producción de biomasa de plantas que crecen en una solución con cantidades variables de Al. En otros casos, se han sugerido métodos *in vitro* que evalúan el desarrollo de células en medios de cultivo que contienen Al. Para una revisión completa del tema se sugiere consultar el trabajo de Samac y Tesfaye (104).

Devine y col. (38) propusieron utilizar macetas con suelo ácido y concentraciones tóxicas de Al para comparar el crecimiento de plantas de alfalfa a fin de identificar los genotipos tolerantes. Este procedimiento es simple y permite evaluar las plantas en un estado juvenil, cuando el desarrollo de la raíz es importante para el establecimiento del cultivo; sin embargo, suelos ácidos con pH similares pueden variar significativamente sus valores de saturación de Al. Una variante del método anterior es el cultivo de plantas directamente en suelos ácidos, bajo condiciones reales de campo; no obstante, su uso está limitado a sólo aquellos lugares en donde la disponibilidad de tales suelos es abundante. Para obviar este problema, Villagracia y col. (123) propusieron cultivar las plantas en arena y regarlas con soluciones que proporcionen, además de todos los nutrientes necesarios, los valores requeridos de pH ácido y concentraciones tóxicas de Al. Por otro lado, Voigt y Godwin (125) señalaron que para las especies de semillas pequeñas -como tréboles y alfalfa- el momento crítico es el establecimiento del cultivo. En consecuencia, para evaluar la germinación y el inmediato desarrollo de las plántulas en condiciones de acidez/Al, sugirieron un método que utiliza una fina capa de suelo ácido sobre una capa de agar: aquellas plántulas que alcanzan el agar en menor tiempo son consideradas tolerantes. La técnica fue empleada para medir con efectividad la tolerancia a la acidez de varias especies de leguminosas forrajeras (124).

El cultivo de plantas en soluciones líquidas, con el objetivo de discriminar genotipos tolerantes al Al, también ha sido propuesto para varias especies y para alfalfa (5). En general, las plantas son mantenidas primeramente en una solución de bajo pH y luego son colocadas en otra solución con valores tóxicos de Al; después de algún tiempo en esas nuevas condiciones, se mide el crecimiento de las raíces y se lo relaciona con el desarrollo radical del tratamiento testigo (sin Al), comparando el cociente Al<sup>(+)</sup>/Al<sup>(-)</sup>. El método es bastante rápido y permite comparar un alto número de genotipos en poco tiempo y espacio físico, pero tiene el inconveniente de que, al compararse la relación



tratamiento/testigo, aquellas plantas que crezcan más lentamente que otras pueden catalogarse como más tolerantes de lo que realmente son. Por otro lado, es difícil identificar la concentración ideal de Al en el medio, al igual que mantenerla a lo largo del período de evaluación o selección; además, los exudados de las raíces alteran constantemente el pH del medio y el Al puede formar complejos con varios nutrientes, limitando su disponibilidad. Como alternativa a la medición del crecimiento radical en soluciones líquidas, Giaveno y Miranda (48) propusieron la utilización de colorantes para identificar plantas con tolerancia al Al. Brevemente, el método consiste en tratar las plántulas a evaluar con una solución ácida de Al y -una vez eliminado el exceso de Al con agua- teñir las raíces con una solución de hematoxilina (0,2%) +  $\text{NaIO}_3$  o KI (0,02%): las plantas tolerantes son las que presentan ninguna o muy escasa coloración. Entre las ventajas del método se destacan su alta sensibilidad para detectar concentraciones de Al aun antes de que el crecimiento radical se vea inhibido, su bajo costo y su naturaleza no destructiva, que lo hace apto para un programa de mejoramiento. Presenta dos inconvenientes importantes: mide la tolerancia en términos más cualitativos que cuantitativos y no tiene en cuenta que no todos los genotipos pueden excluir el Al con la misma rapidez, lo que puede hacer que se eliminen plantas potencialmente tolerantes bajo otras condiciones. Resumiendo, puede decirse que todos los métodos que emplean evaluación en soluciones líquidas (con o sin colorantes) son efectivos para identificar tolerancia al Al; sin embargo, sólo en unos pocos casos se ha visto una aceptable correlación entre la tolerancia observada bajo condiciones experimentales y la obtenida en suelos ácidos (104).

El empleo de métodos de cultivo *in vitro* ofrece un potencial interesante no sólo para identificar genotipos tolerantes a la acidez/Al, sino también para investigar la respuesta celular al problema. Una ventaja adicional es la posibilidad de generar variantes somaclonales que contribuyan a aumentar la variabilidad genética para el carácter (46, 90). Al igual que con el uso de soluciones líquidas, uno de los principales inconvenientes del cultivo *in vitro* es generar medios de cultivos con la adecuada concentración fitotóxica de Al que sea capaz de mantenerse a lo largo del período de evaluación. Por otro lado, la utilización de la selección *in vitro* en programas de mejoramiento supone que la tolerancia al Al identificada a nivel celular se exprese también a nivel de planta entera. En alfalfa, Parrot y Bouton (96) observaron que la tolerancia al Al se expresaba tanto a nivel de cultivo de células como de planta entera, y que los callos producidos a partir de genotipos tolerantes al Al exhibían mayores ganancias de peso que los callos producidos a partir de genotipos sin seleccionar. Kamp-Glass y col. (73) propusieron para alfalfa el uso de un medio de cultivo con concentraciones tóxicas de Al para inducir la formación de callos y el desarrollo de embriones y plantas más tolerantes.

Para el desarrollo de germoplasmas de alfalfa tolerantes a suelos ácidos y/o con niveles tóxicos de Al, Dall'Agnol y col. (35) compararon las siguientes técnicas de evaluación: a) selección en macetas tubulares con suelo ácido ( $\text{pH}_{\text{agua}} = 4,7$ ;  $\text{Al}_{\text{KCl}} = 0,29 \text{ cmol kg}^{-1}$ ;  $\text{Ca} = 0,283 \text{ cmol kg}^{-1}$ ;  $\text{P} = 7 \text{ kg ha}^{-1}$ ); b) selección en macetas tubulares con suelo ácido + una capa superficial de suelo encalado y fertilizado ( $\text{pH}_{\text{agua}} = 6,5$ ;  $\text{Al}_{\text{KCl}} = 0,0 \text{ cmol kg}^{-1}$ ;  $\text{Ca} = 1,80 \text{ cmol kg}^{-1}$ ;  $\text{P} = 72 \text{ kg ha}^{-1}$ ); c) selección divergente en cultivo de tejidos por alta y baja relación de crecimiento de callos en medios con y sin Al (cociente  $\text{Al}^+/\text{Al}^-$ ); d) selección en tándem entre suelo ácido (selectas en a) y alta relación de crecimiento de callos (selectas en c); y e) selección en tándem entre suelo ácido + capa superficial de suelo encalado y fertilizado (selectas en b) y alta relación de crecimiento de callos (selectas en c). Todas las poblaciones desarrolladas por estas técnicas (a-e) fueron luego evaluadas en condiciones de invernáculo y sobre tres sustratos: suelo ácido, suelo encalado y suelo

ácido + una capa superficial de suelo encalado. En suelo ácido, la mayoría de las poblaciones experimentales presentó mayor crecimiento de raíces y forraje que la población original (sin seleccionar), pero sólo la desarrollada sobre suelo ácido (a) exhibió mayor desarrollo que las otras en suelo ácido + una capa superficial de suelo encalado. En suelo encalado, ninguna población experimental tuvo menor desarrollo que la población original. La selección *in vitro* (cultivo de tejidos) no mejoró la tolerancia al Al. En términos de éxito y de requerimientos de tiempo y recursos, los autores concluyeron que la selección directa sobre suelo ácido era la forma más efectiva de desarrollar variedades de alfalfa tolerantes a la acidez/Al.

Aplicando la selección directa de fenotipos tolerantes en suelo ácido, Bouton y Radcliffe (19) desarrollaron el germoplasma de alfalfa GA-AT, que mostró mayor crecimiento y nodulación que el testigo cuando ambos se sembraron en un suelo con pH = 4,6 y con contenido de Al = 32 mg g<sup>-1</sup> (58). Sin embargo, el rendimiento forrajero de GA-AT en suelo ácido, comparado con su producción en suelo encalado, resultó inaceptable desde el punto de vista agronómico, tanto que los autores concluyeron en que eran necesarios mayores niveles de tolerancia a la acidez para alcanzar rendimientos económicamente viables (19). A fin de ampliar la búsqueda de variabilidad genética para tolerancia a la acidez, Bouton (18) evaluó las 200 accesiones de la colección núcleo de *Medicago perennes* de los Estados Unidos, utilizando una combinación de suelo ácido y suelo encalado y fertilizado (capa superficial). Como medida de tolerancia usó el peso seco de las raíces que lograron penetrar la capa subsuperficial de suelo ácido en relación con el testigo tolerante (GA-AT). Asumiendo que la colección núcleo es una representación bastante aproximada de la variabilidad existente en la colección general (12), el trabajo finalizó en que la detección de fuentes de tolerancia en la colección sería muy poco probable.

Resumiendo todo lo anterior, puede decirse que el desarrollo de variedades de alfalfa realmente tolerantes a la acidez/Al por medio del mejoramiento tradicional aparece como muy difícil en el futuro cercano. A las complicaciones metodológicas explicitadas más arriba se suman la herencia autotetraploide del cultivo y las restricciones que impone la depresión por endocría, elementos que pueden enmascarar la expresión de la tolerancia. El empleo de técnicas biotecnológicas ofrece alguna esperanza para resolver el problema. Sledge y col. (107), utilizando análisis de RFLP en poblaciones F<sub>2</sub> y retrocruzas, fueron capaces de identificar QTLs que se relacionan con la tolerancia al Al en alfalfas diploides; obviamente, esto facilitaría la selección y la obtención de variedades tolerantes. Por otro lado, el desarrollo de construcciones transgénicas que incrementen la expresión de genes inducidos por la presencia de Al y/o aumenten la producción de ácidos orgánicos que excluyan al Al del ápice radical también abren algún camino alternativo para el futuro. Tesfaye y col. (116) informaron la producción de plantas transgénicas de alfalfa que sobreexpresan la enzima malato-dehidrogenasa en el ápice de la raíz -lo que incrementó 7 veces la exudación de ácidos orgánicos (malatos, oxalatos, citratos, succinatos y acetatos) respecto del control no transgénico- y disminuyó la concentración de Al dentro de las células de alfalfa. En un trabajo posterior, Tesfaye y col. (115) señalaron que las mayores cantidades de ácidos orgánicos exudados por las raíces de las alfalfas transgénicas impactaron positivamente no sólo en la diversidad y en la actividad de la microflora rizosférica sino también en la disponibilidad de macro y micronutrientes para las plantas.

**2- Tolerancia al empaste.** El empaste, timpanismo o meteorismo espumoso es una disfunción digestiva de los rumiantes que se origina cuando los gases liberados por la

fermentación microbiana de los alimentos en el rumen quedan atrapados en minúsculas burbujas y no pueden ser eliminados por eructación. Este problema se asocia con el consumo de especies forrajeras de alta digestibilidad y alto contenido de proteínas solubles, como la alfalfa (66) y los tréboles blanco (*Trifolium repens*) y rojo (*T. pratense*). El timpanismo es probablemente la causa más importante de pérdidas en la producción bovina y su control constituye una de las mayores preocupaciones de los productores pecuarios. En el Capítulo 17 se describe una serie de medidas de variada efectividad para tratar de controlar o atenuar el problema, a lo que puede agregarse la revisión hecha por Cangiano (28). Sin embargo, una solución económica y definitiva para el productor ganadero sería el desarrollo de variedades de alfalfa con menor propensión timpanizante, manteniendo un nivel adecuado de calidad y comportamiento agronómico. De la comparación entre especies de leguminosas timpanizantes y no-timpanizantes (69) surge que el desarrollo de esas variedades puede llevarse a cabo a través de: 1-) la incorporación al genoma de alfalfa, por medio de la ingeniería genética, de los genes de otras especies de leguminosas forrajeras responsables de la síntesis de taninos condensados, y 2-) la selección de plantas con menor tasa inicial de desaparición ruminal (50).

Los **taninos condensados** (TC), como los presentes en *Lotus corniculatus*, son agentes antiespumógenos muy efectivos por su capacidad para formar complejos con las proteínas; por otro lado, y a diferencia de los taninos hidrolizables, no son detrimentales de la calidad forrajera. Una completa revisión sobre el efecto de los TC en la fermentación ruminal y el empaste de bovinos puede consultarse en McMahon y col. (88). Atendiendo a que la alfalfa posee TC en los tegumentos de la semilla pero no en el follaje, se han propuesto técnicas de ingeniería genética que promuevan en hojas y tallos la expresión de aquellos genes que, por cuestiones regulatorias, no alcanzan a hacerlo. En ese contexto, existen varios trabajos de investigación que se están llevando a cabo en Canadá, Australia, Estados Unidos y la Comunidad Europea (51). En la Argentina, el IGEAF del INTA Castelar tiene en marcha un proyecto para alterar la expresión de la enzima chalcona sintetasa, involucrada en la síntesis metabólica de los taninos (4). Sobre la base de los resultados obtenidos hasta ahora, puede decirse que la inducción de TC en la alfalfa aparece como una vía de mejoramiento promisorio, que verdaderamente controlaría el problema del empaste. Sin embargo, el lanzamiento de una variedad comercial con esta característica demandará todavía varios años de trabajo.

La segunda vía, es decir, la selección de genotipos de alfalfa por **menor tasa inicial de desaparición ruminal** (TIDR), se basa en las teorías conocidas como de ruptura de la pared celular y de velocidad inicial de digestión (67, 69). Durante la década de 1970 se iniciaron en Canadá varios trabajos multidisciplinarios tendientes a identificar la etiología del empaste o meteorismo. Se observó que algunas leguminosas, como el *Astragalus cicer*, eran no-meteorizantes porque poseían una tasa de desaparición 25-30% más lenta que las leguminosas meteorizantes (68). Se observó que en las hojas de esta especie, además de patrones diferentes en la disposición de las nervaduras, las células del mesófilo presentaban paredes celulares más gruesas, lo que retardaba la acción de la microflora ruminal e impedía una liberación explosiva de los contenidos celulares al rumen. De esta manera, se mantenía relativamente baja la concentración de agentes espumógenos (proteínas solubles, restos de cloroplastos, etc.), haciendo que la producción de gas por la fermentación microbiana se mantuviera por debajo de los umbrales críticos para causar meteorismo (67). Sobre la base de esto, Agriculture Canada, en Saskatoon, inició en 1983 un programa de mejoramiento genético de alfalfa con la finalidad de identificar genotipos con menor TIDR a través de la técnica *in situ* de la bolsa de nylon modificada (50), que posibilitaba la identificación de esos individuos después de 4 hs. de permanen-

cia en el rumen de animales fistulados. La población original de plantas se compuso de un pool de germoplasma integrado por cultivares de reposo invernal largo y muy resistentes al frío (GRI 2-3). Aunque el objetivo del programa fue disminuir la desaparición inicial en valores cercanos al 25%, después de 4 ciclos de selección se logró una disminución promedio de sólo el 15% (32, 33, 54). Sin embargo, cuando en 1994/95 la población experimental (LIRD-4) se comparó en ensayos de pastoreo con la variedad 'Beaver' (testigo), se observó que esa disminución fue suficiente para reducir significativamente el número de animales empastados, con un valor promedio de 62% y un rango de 40 a 88% de disminución (15, 34). Las plantas de la población experimental LIRD-4 poseían paredes celulares más gruesas (49) y mayor contenido de fibra (33) que las alfalfas testigo sin seleccionar. En 1997 la población LIRD-4 fue lanzada al mercado como el cv AC Grazeland Br (31), la primera variedad canadiense tolerante al empaste.

Basado en la metodología anterior, se inició en 1991 en la EEA Manfredi-INTA un programa de mejoramiento con el objetivo de desarrollar un cultivar de alfalfa sin reposo invernal con menor TIDR. Se partió de una población de 2000 plantas compuesta por individuos de las variedades Monarca SP INTA, 5929, Mecca y Sequel (500 plantas de cada una). El criterio de selección fue la menor velocidad inicial de desaparición ruminal, medida *in situ* a las 4 hs de permanencia en el rumen de novillos fistulados. El método de mejoramiento combinó la selección fenotípica y genotípica (prueba de progenie por policruza) en un proceso recurrente, que incluyó la utilización de jaulas de policruzamiento con abejas melíferas. En cada ciclo de selección se evaluaron entre 1.200 y 1.850 plantas individuales, con tres repeticiones ciclo<sup>-1</sup> y en dos épocas del año (primavera y verano) (11). Después de 3 ciclos de selección recurrente, se desarrolló la población experimental BDI-C-3 que, comparada con la población original, exhibió 22% de disminución en la TIDR (9, 10). En 2001, esa población fue inscrita como ProINTA Carmina en el Registro Nacional de Propiedad de Cultivares (Res. 125/01 de la SAGPyA). Comparada con la variedad testigo Bárbara SP INTA, ProINTA Carmina presenta por lo general mayor contenido de fibra (FDA y FDN), similar proporción hoja/tallo y semejante contenido de PB (8). Completando su caracterización agronómica, cabe señalar que presenta un buen potencial de producción de forraje, aunque inferior al de las mejores variedades del mercado (110).

En el otoño de 2003 se implantaron ensayos de pastoreo en las unidades del INTA de Marcos Juárez, General Villegas, Manfredi y Rafaela. También se realizaron ensayos a gran escala en campos de productores (7). El objetivo fue evaluar la menor capacidad timpanizante de ProINTA Carmina a través de un diseño de parcelas apareadas, utilizando como testigo al cv Bárbara SP INTA. El grado de timpanización en cada parcela se determinó basado en desafíos periódicos y empleando una escala de estimación visual de 0 (= sin timpanización) a 5 (= tratamiento o muerte del animal) (81). La información conjunta de todos esos ensayos indica que ProINTA Carmina disminuye significativamente el número de animales timpanizados y que, dentro del grupo de timpanizados, disminuye la intensidad del problema hacia una mayor proporción de grados leves y moderados (14); en los casos graves (grados 4 y 5 de la escala), no se observaron diferencias con el testigo. Estos resultados permiten concluir que ProINTA Carmina, si bien no elimina el timpanismo, constituye una herramienta interesante para su atenuación, disminuyendo significativamente sus riesgos. De esa forma -complementada con otras técnicas de control- podría disminuir los costos de producción, reducir las pérdidas de animales y facilitar el manejo de los rodeos, particularmente en categorías menos sensibles como vacas de cría en planteos intensivos. En 2005/06 se implantaron nuevos ensayos de pastoreo para medir no sólo el grado de meteorismo en compa-

ración con un testigo, sino también la producción de carne ha<sup>-1</sup>. En este último caso, la finalidad es determinar si a través de su mayor contenido de fibra y/o su ligeramente menor potencial forrajero, o de su menor potencial timpanizante, ProINTA Carmina afecta negativa o positivamente la producción secundaria.

**3- Tolerancia a la salinidad.** La salinidad de los suelos afecta la captación de agua por parte de las plantas; además, la presencia de niveles excesivos de algunos cationes puede resultar tóxica para las plantas, alterando varios procesos metabólicos. En muchos casos, los problemas de salinidad tienen ocurrencia estacional, principalmente durante el verano. Las altas temperaturas aceleran los procesos de ascenso capilar del agua edáfica y su pérdida por evapotranspiración, lo que aumenta la concentración de sales en superficie; en épocas de lluvias o de menores temperaturas, al subir la napa freática, la concentración de sales tiende a diluirse. En áreas deprimidas, donde la napa freática está cercana a la superficie, el estrés salino está usualmente asociado al de anegamiento (70). Todo este contexto plantea desafíos adicionales a los cultivos perennes como la alfalfa, que deben enfrentar estas cambiantes situaciones a lo largo de su vida.

De acuerdo con Smith (109) se pueden identificar en alfalfa tres estados de crecimiento bajo condiciones de salinidad: a) germinación, que incluye la imbibición, el alargamiento de la radícula y la emergencia de los cotiledones; b) desarrollo de la plántula, que lleva unos 20-40 días y que abarca desde la elongación del hipocótilo y la expansión de los cotiledones hasta el inicio del desarrollo de tallos secundarios; y c) crecimiento de la planta madura, que se inicia en el desarrollo de los tallos secundarios y llega hasta la cosecha y los posteriores rebrotes. Existen numerosos trabajos que investigaron la germinación de la alfalfa bajo condiciones de salinidad. La conclusión general es que tanto el porcentaje como la tasa de germinación de las semillas de alfalfa se ven disminuidos a una concentración salina 150 mM NaCl, y que ninguna o muy poca germinación se observa a un nivel de estrés osmótico-salino entre 300 y 500 mM NaCl (109). A diferencia de la situación anterior, existen relativamente pocos estudios referidos a la respuesta de la alfalfa a la salinidad durante la emergencia y el establecimiento del cultivo. McKimmie y Dobrenz (87) observaron que cerca del 75% de las plántulas emergidas sobrevivían durante 2 semanas cuando eran irrigadas por inundación con agua que contenía 243 mM NaCl, y que solamente el 13% sobrevivió a una concentración salina de 289 mM NaCl. Los síntomas causados por la salinidad son esencialmente iguales en plántulas y en plantas maduras: i) a bajos niveles de estrés (< 100 mM NaCl), sólo se reduce el rendimiento de la fitomasa aérea (menos tallos y más cortos); ii) a niveles intermedios de estrés, la reducción del crecimiento es acompañada por una decoloración de los folíolos en plantas jóvenes, lo que está asociado a una mayor succulencia de hojas y tallos (109); una coloración verde oscura o verde-azulada de las hojas más viejas; y un incremento en la relación hoja/tallo (65); y iii) a altos niveles de estrés, se produce necrosis marginal o clorosis de las hojas, a lo que sigue la caída de las hojas más viejas (109).

McKimmie y Dobrenz (86) detectaron variabilidad fenotípica referida a sobrevivencia y crecimiento de plantas de alfalfa sometidas a estrés salino; el grupo de individuos tolerantes exhibió una menor concentración de Na y Cl en el follaje y una tendencia a acumular Na en las raíces. En general, la tolerancia a la salinidad parece estar relacionada a menores concentraciones iónicas (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) en hojas (100), mayores potenciales hídricos y crecimientos más vigorosos, lo que puede ser útil para diluir las acumulaciones iónicas (74, 86). La exclusión de las sales puede ocurrir primariamente a nivel radicular, lo que aseguraría menores concentraciones salinas en los tejidos internos en relación al



suelo (92). Según Talibart y col. (112) la adaptación al estrés osmótico parece estar regulada por al menos dos osmoprotectores.

Usualmente, los programas de mejoramiento genético para desarrollar materiales tolerantes a la salinidad se han focalizado en las etapas de la germinación, emergencia y plántula (3, 87). Sin embargo, y de acuerdo con Johnson y col. (72), actualmente se reconoce la importancia de incorporar la selección en planta adulta, como forma de mejorar también la producción forrajera. Por otro lado, el protocolo de selección para inducir el estrés salino debe representar lo más fielmente posible el ambiente para el que se selecciona el material. El cultivo en soluciones salinas (3) o las técnicas de baños de agua, donde la sal es suspendida alrededor de las raíces, parecerían ser más apropiados que la lixiviación de sales a través del suelo utilizando riego con soluciones salinas (109). Complementariamente, se han propuesto índices de evaluación que incluyen porcentaje de germinación, peso seco de fitomasa aérea (plántula y estadios posteriores), necrosis foliar y número de tallos (91). Noble y col. (92) desarrollaron poblaciones de alfalfa tolerantes a salinidad en base al porcentaje de daño en las hojas. Dos generaciones de selección fenotípica recurrente fueron suficientes para incrementar significativamente la tolerancia sin sacrificar rendimiento bajo condiciones no salinas. La heredabilidad estimada del carácter fue razonablemente buena ( $h^2 = 0,41$ ). Otros autores también han lanzado diversos materiales tolerantes, que han exhibido un grado variable de germinación y sobrevivencia en condiciones controladas (invernáculo). En ellos, pueden citarse los germoplasmas AZ-90NDC-ST (72), AZ-97MEC y AZ-97MEC-ST (2) y el cv Salado (41). En Argentina, Ochoa ha desarrollado los cultivares Salinera INTA (95) y Trinidad 87 (94).

En los últimos años se han propuesto nuevas técnicas que -basadas en la estimación del funcionamiento normal de la planta a nivel celular- permiten una temprana detección de la tolerancia no sólo a salinidad sino también a otros factores estresantes. En ese sentido, Shabala y col. (106) sugirieron la medición de la fluorescencia clorofílica y el empleo de la técnica bioeléctrica. Esta última, a través del grado de respuesta a pulsos eléctricos de baja intensidad, estima la reacción de la planta a nivel de la membrana celular ante el impacto de una determinada situación de estrés. Ambas técnicas son rápidas y no destructivas, lo que las hace muy apropiadas para ser implementadas en un programa de mejoramiento. La técnica bioeléctrica puede ser una buena alternativa frente a la estimación de la tolerancia a salinidad a través de la medición del rendimiento forrajero en planta adulta, que demanda tiempo y espacio. Por otro lado, aparece como una manera efectiva para seleccionar por el resultado final de una larga serie de factores de la planta que interactúan para desarrollar tolerancia a la salinidad.

Además de los procedimientos de selección tradicionales, existen posibilidades concretas de desarrollar nuevos materiales a través del uso de técnicas moleculares, tal como lo propuso Winicov (126). En la Argentina, investigadores de la Univ. Nac. del Litoral han podido clonar del girasol el gen Hahb-4 (de la familia HD-Zip), que incorporado al genoma de *Arabidopsis thaliana* ha sido capaz de conferir tolerancia a sequía y salinidad (29, 30, 39, 40). En el caso concreto de la alfalfa, se han iniciado acciones exploratorias para evaluar la posibilidad de desarrollar variedades tolerantes mediante el uso de este transgen.

## Consideraciones finales

El mejoramiento genético de la alfalfa ha alcanzado un notable grado de desarrollo en todo el mundo, a punto tal de contarse con un extensísimo listado de variedades

obtenidas para una gran diversidad de situaciones ambientales y sistemas de producción. Para ello, además de aprovechar la enorme variabilidad genética de la especie, se han desarrollado métodos de mejoramiento adaptados a las particularidades de la especie (autotetraploidía, autoincompatibilidad, intolerancia a la endocría, perennidad, etc.). Para la mejora de aquellos caracteres en los que la variabilidad genotípica es nula o muy escasa, se están utilizando técnicas moleculares y en un futuro cercano se espera contar en el mercado con algunas variedades transgénicas. En la Argentina, el desarrollo de cultivares de alfalfa con selección local es llevado a cabo tanto por entidades públicas (principalmente el INTA) como por empresas privadas. La tasa de renovación de materiales mejorados en el mercado es elevada, de modo que el productor pecuario tiene siempre la posibilidad de elegir lo que mejor se adapte a sus necesidades. En ese sentido, se recomienda enfáticamente la utilización de semilla fiscalizada (con rótulo del INASE), que garantiza la calidad y la pureza genética de los cultivares.

## Bibliografía

- 1-AALDERS, L. E. 1966. A recurrent selection program for perennial crop species designed to minimize inbreeding. *Can. J. of Gen. and Cytol.* 8: 293-295.
- 2-AL-DOSS, A. and S. SMITH. 1998. Registration of AZ-97MEC and AZ-97MEC-ST very nondormant alfalfa germplasm pools with increased shoot weight and different response to slaine irrigation. *Crop Sci.* 38: 568.
- 3-AL-KHATIB, M., T. McNEILLY and J. C. COLLINS. 1993. The potential of selection and breeding for improved salt tolerance in lucerne (*Medicago sativa* L.). *Euphytica* 65: 43-51.
- 4-ARDILA, F., J. CIANCIO, M. R. GARAY, E. PAGANO, R. D. RÍOS and P. M. FRANZONE. 2003. Genetic engineering manipulation of condensed tannin biosíntesis for the obtention of safe-bloat alfalfa. *Proc. 3<sup>rd</sup> International Symposium of Molecular Breeding of Forage and Turf.* Dallas, TX, USA.
- 5-BALIGAR, V. C., J. H. ELGIN (Jr) and C. D. FOY. 2002. Variability in alfalfa for growth and mineral uptake and efficiency ratios under aluminium stress. *Agron. J.* 81: 223-229.
- 6-BARNES, D. K., E. T. BINGHAM, J. D. AXTELL and W. H. DAVIS. 1972. The flower, sterility mechanism, and pollination control. *In: C. H. Hanson (ed.) Alfalfa Science and Technology.* ASA, Agronomy 15. Madison, WI, USA, pp. 123-141.
- 7-BASIGALUP, D. H. 2004. CVT Alfalfa INTA-Produsem SA. Informe de Actividades Período 2003/2004. EEA Manfredi-INTA, pp. 36-62.
- 8-BASIGALUP, D. H. 2001. CVT Alfalfa INTA-Produsem SA. Informe de Actividades Período 1999/2001. EEA Manfredi-INTA, pp. 30-35.
- 9-BASIGALUP, D. H., C. V. CASTELL and C. D. GIAVENO. 2004. Response to selection for lower initial rate of dry matter disappearance in the development of a bloat-tolerant non-dormant alfalfa population. *Journal of Genetics and Breeding* 57 (1): 31-38.
- 10-BASIGALUP, D. H., C. V. CASTELL, V. AROLFO and M. BENÍTEZ. 1998. Response to selection in the development of a bloat-tolerant alfalfa in Argentina. *In: J. Bouton & G. Bauchan (eds) Report of the 36<sup>th</sup> North American Alfalfa Improvement Conference, August 2-6, Bozeman, MT, USA, p. 90.*
- 11-BASIGALUP, D. H., C. V. CASTELL and C. D. GIAVENO. 1996. Breeding a bloat-tolerant alfalfa in Argentina. *In: W. T. Woodward & J. H. Elgin, Jr (eds) Report of the 35<sup>th</sup> North American Alfalfa Improvement Conference, June 16-20, Oklahoma City, OK, USA, p. 31.*
- 12-BASIGALUP, D. H. D. K. BARNES and R. E. STUCKER. 1995. Development of a core collection for perennial *Medicago* Plant Introductions. *Crop Sci.* 35 (4): 1163-1168.
- 13-BASIGALUP, D. H. y E. H. HIJANO. 1995. Mejoramiento genético de la alfalfa. *In: E. H. Hijano y A. Navarro (ed.) La Alfalfa en la Argentina.* INTA, SubPrograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, pp. 39-60.
- 14-BERNALDEZ, M. L., D. BASIGALUP, J. MARTÍNEZ FERRER y D. ALOMAR. 2005. Potencial meteorizante de un cultivar de alfalfa con baja tasa inicial de degradación ruminal. *Rev. Arg. De Prod. Animal* 25 (Supl. 1): 184-185.

- 15-BERG, B. P., W. MAJAK, T. A. McALLISTER, J. W. HALL, D. McCARTNEY, B. E. COULMAN, B. P. GOPLEN, S. N. ACHARYA, R. M. TAIT and K.-J. CHENG. 2000. Bloat in cattle grazing alfalfa cultivars selected for a low initial rate of digestion: a review. *Can. J. Plant Sci* 80: 493-502.
- 16-BINGHAM, E. T. 1983a. Maximizing hybrid vigor in autotetraploid alfalfa. *In: Better Crops for Food*. CIBA Foundation Symp 97. Pitman Books, London, UK, pp. 130-143.
- 17-BINGHAM, E. T. 1983b. Molecular genetic engineering vs. plant breeding. *Pl. Mol.Biol.* 2: 221-228.
- 18-BOUTON, J. H.. 1996. Screening the alfalfa core collection for acid soil tolerance. *Crop Sci.* 36: 198-200.
- 19-BOUTON, J. H. and D. R. RADCLIFFE. 1989. Effects of acid soil selection on agronomically important traits in alfalfa. *In: Association Française pour la Production Fourragère (ed.) Proc. 16<sup>th</sup> Intern. Grass. Congress. Nice, France, Oct. 4-11.* French Grassland Society, Versailles, pp. 377-378.
- 20-BRADNER, N.T. and W.R. CHILDERS. 1968. Cytoplasmic male sterility in alfalfa. *Can. J. Pl. Sci.* 48: 111-112.
- 21-BRUMMER, E. C. 1999. Capturing heterosis in forage crop cultivar development. *Crop Sci.* 39: 943-954.
- 22-BURKART, A. 1947. Adelantos recientes en las técnicas de mejoramiento genético de alfalfa. *Anales Acad. Nac. Ciencias Exac., Fís. y Nat (Arg)* 12: 39-57.
- 23-BUSBICE, T. H. 1970. Predicting yields in synthetic varieties. *Crop Sci.* 10: 265-269.
- 24-BUSBICE, T. H. 1969. Inbreeding in synthetic varieties. *Crop Sci.* 9: 601-604.
- 25-BUSBICE, T.H. and R. Y. GURGIS. 1976. Evaluating parents and predicting performance of synthetic varieties. US Gov. Printing Office. USDA-ARS-S 130.
- 26-BUSBICE, T.H. and C.O. WILSIE. 1966. Inbreeding depression and heterosis in autotetraploids with application to *Medicago sativa* L. *Euphytica* 15: 52-67.
- 27-BUSBICE, T.H., R. R. HILL (Jr) and H. L. CARNAHAN. 1972. Genetics and breeding procedures. *In: C. H. Hanson (ed.) Alfalfa Science and Technology.* ASA, Agronomy 15. Madison, WI, USA, pp. 283-318.
- 28-CANGIANO, C. A. 1997. Empaste. Métodos de prevención. *In: C. A. Cangiano (ed.) Producción Animal en Pastoreo. Cap. 7.* Ediciones INTA, Balcarce, Argentina, pp.103-115.
- 29-CHAN, R. L., G. M. GAGO, C. M. PALENA and D. H GONZÁLEZ. 1998. Homeoboxes in Plant Development. *Biochimica et Biophysica Acta* 1442: 1-19.
- 30-CHAN, R. L. And D. H. GONZALEZ. 1994. A cDNA encoding an HD-Zip protein fom sunflower. *Pl. Physiol.* 106: 1687-1688.
- 31-COULMAN, B. E., M. GRUBER, T. A. Mc ALLISTER, W. MAJAK and D. THOMPSON. 2000a. Future of alfalfa as a grazing crop: Bloat. *In: J. Bouton & G. Bauchan (eds) Report of the 37<sup>th</sup> North American Alfalfa Improvement Conference, July 16-19, Madison, WI, USA, pp. 351-358.*
- 32-COULMAN, B., B. GOPLEN, W. MAJAK, T. A. McALLISTER, K.-J. CHENG, B. BERG, J. HALL, D. McCARTNEY and S. ACHARYA. 2000b. A review of the development of a bloat-reduced alfalfa cultivar. *Can. J. Plant Sci.* 80: 487-491.
- 33-COULMAN, B. E., C. DUNCAN and B. P. GOPLEN. 1998. Response to four cycles of selection for low initial rate of digestion in alfalfa. *In: J. Bouton & G. Bauchan (eds.) Report of the 36<sup>th</sup> North American Alfalfa Improvement Conference, August 2-6, Bozeman, MT, USA, p. 74.*
- 34-COULMAN, B.E., W. MAJAK, T. Mc ALLISTER, B. BERG, D. Mc CARTNEY, K.-J. CHENG, J.W. HALL and B.P. GOPLEN. 1996. Reduced bloat incidence in grazing trials of alfalfa selected for low initial rate of digestion (LIRD). Report of the 35<sup>th</sup> North American Alfalfa Improvement Conference, Oklahoma City, OK., July 16-20.
- 35-DALL'AGNOL, M., J. H. BOUTON and W. A. PARROTT. 1996. Screening methods to develop alfalfa germplasms tolerant to acid, aluminium toxic soils. *Crop Sci.* 36: 64-70.
- 36-DAVIS, W. H. and J. M. GREENBLATT. 1967. Cytoplasmic male sterility in alfalfa. *J. of Heredity* 58: 301-305.
- 37-DEGENHARDT, J., P. B. LARSEN, S. H. HOWELL and L. KOCHIAN. 1998. Aluminium resistance in the Arabidopsis mutant alr-104 is caused by an aluminium increase in rizosphere pH. *Plant Physiol.* 117: 19-27.
- 38-DEVINE, T. E., C. D. FOY, A. L. FLEMING, C. H. HANSON, T. A. CAMPBELL, J. E. McMURTREY and J. W. SCHWARTZ. 1976. Development of alfalfa strains with differential tolerance to aluminium toxicity. *Plant Soil* 44: 657-665.
- 39-DEZAR, C. A., G. V. FEDRIGO and R. L. CHAN. 2005a. The promoter of the sunflower HD-Zip protein gene Hahb-4 directs tissue-specific expression and is inducible by water stress, high salt concentrations and ABA. *Plant Science* 169: 447-459.

- 40-DEZAR, C. A., G. M. GAGO, G. M. GONZALEZ and R. L. CHAN. 2005b. Hahb-4, a sunflower homeobox-leucine zipper gene, confers drought tolerance to *Arabidopsis thaliana* plants. *Transgenic Research* 14: 429-440.
- 41-DOWNES, R. 2000. Lucerne, *Medicago sativa*, 'Salado'. *Plant Var. J.* 13 (1): 52-53.
- 42-DUDLEY, J. W. R. R. HILL (Jr) and C. H. HANSON. 1963. Effects of seven cycles of recurrent phenotypic selection on means and genetic variances of several characters in two pools of alfalfa germplasm. *Crop Sci.* 3: 543-546.
- 43-EBERHART, S. A., M. N. HARRISON and F. OGADA. 1967. A comprehensive breeding system. *Der Zuchter* 37: 169-174.
- 44-ELGIN, J. H. (Jr), J. E. McMURTEY III, B. J. HATMAN, B. D. THYR, E. L. SORENSEN, D. K. BARNES, F. I. FROSHEISER, R. N. PEADEN, R. R. HILL (Jr) and K. T. LEATH. 1983. Use of strain crosses in the development of multiple pest resistant alfalfa with improved field performance. *Crop Sci.* 23: 57-64.
- 45-FEHR, W. R. 1987. Principles of cultivar development. Theory and Technique. Macmillan, New York, USA, Vol I, 525 p.
- 46-FOY, C. D., R. R. DUNCAN, R. M. WASKON and D. T. MILLER. 1993. Tolerance of sorghum genotypes to an acid, aluminium toxic tatum subsoil. *J. Plant Nutr.* 161: 97-127.
- 47-GEPTS, P. 1992. Genetic markers and core collections. *In: Proc. Int. Workshop on Core Collections of Plant Germplasms.* Brasilia, Brasil, s/p.
- 48-GIAVENO, C. D. and J. B. MIRANDA. 2000. Rapid screening for aluminium tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Genet. Mol. Biol.* 23: 847-850.
- 49-GOPLIN, B. P., R. E. HOWARTH and G. L. LEES. 1993. Selection of alfalfa for a lower initial rate of digestion and corresponding changes in epidermal and mesophyll cell wall thickness. *Can. J. Plant Sci.* 73: 111-122.
- 50-GOPLIN, B. P., R. E. HOWARTH, G. L. LEES, W. MAJAK, J. P. FAY and K.-J. CHENG. 1983. Evolution of selection techniques in breeding for bloat-safe alfalfa. p. 221-223. *In J. A. Smith and V. W. Hays (ed.) Proc. 14<sup>th</sup> Int. Grassl. Congr., Westview Press, Boulder, CO.*
- 51-GRUBER, M. Y., H. RAY and L. BLAHUT-BEATTY. 2001. Genetic manipulation of condensed tannin synthesis in forage crops. *In: G. Spangenberg (ed.) Molecular breeding of forage crops.* Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 189-201.
- 52-GODECK, W. 1956. Información preliminar sobre autofecundación en alfalfa. IDIA (INTA, Arg) 98: 27-29.
- 53-HAAG, W. L. and R. R. HILL (Jr). 1974. Comparison of selection methods for autotetraploids. II. Selection for disease resistance in alfalfa. *Crop Sci.* 14: 591-593.
- 54-HALL, J. W., W. MAJAK, D. G. STOUT, K.-J. CHENG, B. P. GOPLIN and R. E. HOWARTH. 1994. Bloat in cattle fed alfalfa selected for a low initial rate of digestion. *Can. J. Anim. Sci.* 74: 451-456.
- 55-HANSON, C. H., T. H. BUSBICE, R. R. HILL (Jr), O. J. HUNT and A. J. OAKES. 1972. Directed mass selection for developing multiple pest resistance and conserving germplasm of alfalfa. *J. Environ. Quality* 1: 106-111.
- 56-HARRIS, D. L. 1964. Expected progress from index selection involving estimates of populations parameters. *Biometrics* 20: 46-72.
- 57-HARRIS, D. L. 1963. The influence of errors of parameter estimation upon index selection. *In: W. D. Hanson and H. F. Robinson (ed.) Statistical Genetics and Plant Breeding.* Nat. Acad. Sci., Washington (DC), USA. NRC Publ. 982, pp. 491-500.
- 58-HARTEL, P. G. and J. H. BOUTON. 1989. *Rhizobium meliloti* inoculation of alfalfa selected for tolerance to acid, aluminium rich soils. *Plant Soil* 116: 283-285.
- 59-HAZEL, L. N. and J. L. LUSH. 1942. The efficiency of three methods of selection. *J. Heredity* 33: 393-399.
- 60-HENDERSON, M. and J. D. OWNBY. 1991. The role of root cap mucilage secretion in aluminium tolerance of wheat. *Curr. Topics Plant Biochem. Physiol.* 10: 134-141.
- 61-HILL, R. R. (Jr). 1983. Heterosis in population crosses of alfalfa. *Crop Sci.* 23: 48-50.
- 62-HILL, R. R. (Jr). 1971. Effect of the number of parents on the mean and variance of synthetic-varieties. *Crop Sci.* 11: 283-286.
- 63-HILL, R. R. (Jr) and W. L. HAAG. 1974. Comparison of selection methods for autotetraploids. *Theoretical. Crop Sci.* 14: 587-590.



- 64-HILL, R.R. (Jr), C. H. HANSON and T. H. BUSBICE. 1969. Effect of four recurrent selection programs on two alfalfa populations. *Crop Sci.* 9: 129-133.
- 65-HOFFMAN, G. J., E. V. MASS and S. L. RAWLINS. 1975. Salinity-ozone interactive effects on alfalfa yield and water relations. *Journal of Environmental Quality* 4: 326-331.
- 66-HOWARTH, R.E. 1988. Antiquity factors and nonnutritive chemicals components. p 493-514. In A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill, Jr. (ed.) *Alfalfa and Alfalfa Improvement*, Agronomy 29, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.
- 67-HOWARTH, R. E., K.-J. CHENG, J. P. FAY, W. MAJAK, G. L. LEES, B. P. GOPLIN and J.W. COSTERTON. 1982a. Initial rate of digestion in legume pasture bloat. In J. A. Smith and V. W. Hays (ed.) *Proc. 14<sup>th</sup> Int. Grassl. Congr.*, Westview Press, Boulder, CO., p. 719- 722.
- 68-HOWARTH, R. E., B. P. GOPLIN, S. A. BRANDT and K.-J. CHENG. 1982b. Disruption of leaf tissues by rumen microorganisms: An approach to breeding bloat-safe forage legumes. *Crop Sci.* 22: 564-568.
- 69-HOWARTH, R. E., B. P. GOPLIN and A. C. FESSER. 1978. A possible role for leaf cell rupture in legume pasture bloat. *Crop Sci.* 18: 129-133.
- 70-HUMPHRIES, A. W. and G. C. AURICHT. 2001. Breeding Lucerne for Australia's southern dryland cropping environments. *Aust. J. Agric. Res.* 52:153-169.
- 71-JENSEN, S., M. R. BROADLEY, W. ROBBRECHT and E. SMETS. 2002. Aluminium hyperaccumulation in angiosperms: a review of its phylogenetic significance. *Bot. Rev.* 68: 235-269.
- 72-JOHNSON, D. W., S. E. SMITH and A. K. DOBRENZ. 1991. Registration of AZ-90NDC-ST nondormant alfalfa germplasm with improved forage yield in saline environments. *Crop Sci.* 31: 1098-1099.
- 73-KAMP-GLASS, M., D. POWELL, G. B. REDDY, V. C. BALIGAR and R. J. WRIGHT. 1993. Biotechniques for improving acid aluminium tolerance in alfalfa. *Plant Cell Rep.* 12: 590-592.
- 74-KAPULNIK, Y., L. R. TEUBER and D. A. PHILLIPS. 1989. Lucerne (*Medicago sativa* L.) selected for vigor in a nonsaline environment maintained growth under salt stress. *Aust. J. Agric. Res.* 40: 1253-1259.
- 75-KEHR, W. R., H. O. GAUMAN, C. C. LOWE and C. O. GARDNER. 1961. The performance of alfalfa synthetics in the first and advance generations. *Neb. Agr. Exp. Stn. Bull.* 200.
- 76-KEMPTHORNE, O. 1957. An introduction to genetics statistics. John Willey and Sons, New York, USA, 545 p.
- 77-KEMPTHORNE, O. 1955. The correlation between relatives in a simple autotetraploid population. *Genetics* 40: 168-174.
- 78-LAMB. J. F. S., L. D. JOHNSON, D. K. BARNES and J. J. MARQUEZ-ORTIZ. 2000. A method to characterize root morphology traits in alfalfa. *Can. J. Plant Sci.* 80: 97-104.
- 79-LEVINGS, D. S. III and J. W. DUDLEY. 1963. Evaluation of certain mating designs for estimation of genetic variance in autotetraploid alfalfa. *Crop Sci.* 3: 532-535.
- 80-LI, X. F., J. F. MA, S. HIRADATE and H. MATSUMOTO. 2000. Mucilage strongly binds aluminium but does not prevent roots from aluminium injury in *Zea mays*. *Physiol. Plant* 108: 152-160.
- 81-LIPPKE, H., J. L. REAVES and N. L. JACOBSON. 1972. Rumen pressure associated with the score of a bloat severity scale. *J. An. Sci.* 34(1):171-175.
- 82-LÓPEZ-BUCIO, J., M. F. NIETO-JACOBO, V. RAMÍREZ-RODRÍGUEZ and L. HERRERA-ESTRELLA. 2000. Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Sci.* 160: 1-13.
- 83-MA, J. F. 2000. Role of organic acids in detoxification of aluminium in higher plants. *Plant Cell Physiol.* 41: 383-390.
- 84-MA, J. F., P. R. RYAN and E. DELHAIZE. 2001. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends Plant Sci.* 6: 273-278.
- 85-McCASLIN, M., S. J. TEMPLE and J. E. TOFTE. 2002. Methods for maximizing expression of transgenic traits in autopolyploid plants. U. S. Patent Office Application Publication N° US-2002-0042928-A1 (April).
- 86-McKIMMIE, T. and A. K. DOBRENZ. 1991. Ionic concentrations and water relations of alfalfa seedlings differing in salt tolerance. *Agronomy Journal* 83 (2): 363-367.
- 87-McKIMMIE, T. and A. K. DOBRENZ. 1987. A method for evaluation of salt tolerance during germination, emergence and seedling establishment. *Agron. J.* 79: 943-945.
- 88-McMAHON, L. R., T. A. Mc ALLISTER, B. P. BERG, W. MAJAK, S. N. ACHARYA, J. D. POPP, B. E. COULMAN, Y. WANG and K.-J. CHENG. 2000. A review of the effects of forage condensed tannins on ruminal fermentation and bloat in grazing cattle. *Can. J. Plant Sci.* 80: 469-485.



- 89-MELTON, B. 1979. Inbreeding, environmental effects and combining ability studies in alfalfa. New Mexico State Univ. Agr. Exp. Stn. Special Report 35, 223 p.
- 90-MILLER, D. R., R. M. WASKOM, R. R. DUNCAN, P. L. CHAPMAN, M. A. BRICK, G. E. HANNING, D. A. TIMM and M. W. NABORS. 1992. Acid soil stress tolerance in tissue culture-derived sorghum lines. *Crop Sci.* 32: 324-327.
- 91-NOBLE, C. L. 1983. The potential for breeding salt-tolerant plants. *Proc. of the Royal Soc. of Victoria* 95: 133-138.
- 92-NOBLE, C. L., G. M. HALLORAN and D. W. WEST. 1984. Identification and selection for salt tolerance in Lucerne (*Medicago sativa* L.). *Austr. J. Agric. Res.* 35: 239-252.
- 93-NORTH AMERICAN ALFALFA IMPROVEMENT CONFERENCE. Sitio web: [www.naaic.org](http://www.naaic.org) (última consulta: 7/11/2005).
- 94-OCHOA, L. H. y G. A. ANZARDI. 1996. Trinidad 87. Legajo de inscripción. Ministerio de Economía-SAGyPA-INASE. Registro Nacional de Cultivares. Bs. As., Arg.
- 95-OCHOA, L. H. 1980. Obtención de variedades mejoradas de alfalfa. Informe anual del Plan de Trabajo 41:1345. EEA La Banda-INTA.
- 96-PARROT, W. A. and J. H. BOUTON. 1990. Aluminium tolerance in alfalfa as expressed in tissue culture. *Crop Sci.* 30: 387-389.
- 97-QUIROS, C. F. and G. R. BAUCHAN. 1988. The Genus *Medicago* and the origin of *Medicago sativa* Complex. In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill (Jr) (ed.) *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. ASA-CSSA-SSSA Agronomy Series 29. Madison, WI, USA, pp. 93-124.
- 98-RODRÍGUEZ, J. A. 1986. Mejoramiento genético de la alfalfa. In: C. Bariggi, V. L. Marble, C. D. Itria y J. M. Brun (ed.) *Investigación, Tecnología y Producción de Alfalfa*. INTA, Colección Científica, Bs. As., pp. 251-323.
- 99-RODRÍGUEZ, J. A. 1983. Conceptos para el mejoramiento de especies forrajeras. INTA, EEA Anguil. Publ. Misc. 8, 19 p.
- 100-ROGERS, M. E. 1998. Salinity effects on irrigated lucerne. In: D. L. Michalk and J. E. Pratley (ed.) *Proc. of the 9<sup>th</sup> Austr. Agronomy Conference*, Waga Wagga, Australia, pp. 266-268.
- 101-ROTILI, P. 1976. Performance of diallel crosses and second generation synthetic of alfalfa derived from partially inbred parents-I. For yield. *Crop Sci.* 16: 247-251.
- 102-RUMBAUGH, M. D., J. L. CADDEL and D. E. ROWE. 1988. Breeding and Quantitative Genetics. In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill (Jr) (ed.) *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. ASA-CSSA-SSSA Agronomy Series 29. Madison, WI, USA, pp. 777-808.
- 103-SAMAC, D. A. and S. J. TEMPLE. 2004. Development and utilization of transformation in *Medicago* species. In: G. H. Ling and D. Z. Skinner (ed.) *Genetically Modified Crops – Their development, uses and risks*. Food Products Press, USA, pp. 165-202.
- 104-SAMAC, D. A. and M. TEFAYE. 2003. Plant Improvement for tolerance to aluminium in acid soils – a review. *Plant Cell, Tissue & Organ Culture* 75: 189-207.
- 105-SCOTTI, C., C. SUARDI, F. PUPILLI, F. DAMIANI, S. ARCIONI and P. ROTILI. 1994. Inbreeding depression in *Medicago sativa*: estimation of the different levels of heterozygosity by RFLP. In: R. Michaud and J. H. Elgin (Jr)(ed.) *Report 34<sup>th</sup> North American Alfalfa Improvement Conference*. Guelph, ON, Canada. July 10-14, p. 84.
- 106-SHABALA, S. N., S. I. SHABALA, A. I. MARTYNENKO, O. BABOURINA and I. A. NEWMAN. 1998. Salinity effect on bioelectrinc activity, growth, Na<sup>+</sup> accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: a comparative survey and prospects for screening. *Aust. J. Plant Physiol.* 25 (5): 609-616.
- 107-SLEDGE, M. K., J. H. BOUTON, M. DALL'AGNOLL, W. A. PARROT and G. KOCHER. 2002. Identification and confirmation of aluminium tolerance QTL in diploid *Medicago sativa* subsp. *coerulea* *Crop Sci.* 42: 1121-1128.
- 108-SMITH, S. 1998. Evaluating salt tolerance: some experiences with nondormant alfalfa. In: J. Bouton and G. T. Bauchan (ed.) *Report 36<sup>th</sup> North American Alfalfa Improvement Conference*. Bozeman, MT, USA. August 2-6, p. 26.
- 109-SMITH, S. E. 1994. Salinity and the production of alfalfa. In: M. Pessakari (ed.) *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker, Tucson, AZ, USA, pp. 431-449.
- 110-SPADA, M. del C. (ed.). 2005. Avances en Alfalfa. Ensayos Territoriales. EEA Manfredi-INTA, Año 15 - N° 15, 51 p.
- 111-STANFORD, E. H. and E. R. HOUSTON. 1954. The backcross technique as a method of breeding alfalfa. In: *Report of 14<sup>th</sup> Alfalfa Improvement Conference*. Davis, CA, August 3-7, pp. 44-45.

- 112-TALIBART, T., M. JEBBAR, G. GOUESBET, S. HIMDIKABBAB, H. WROBLEWSKI, C. BLANCO and T. BERNARD. 1994. Osmoadaptation in rhizobia-ectoine-induced salt tolerance. *J. of Bacteriology* 176 (17): 5210-5217.
- 113-TAYLOR, G. J. 1991. Current views of the aluminium stress response: the physiological basis of tolerance. *Curr. Topics Plant Biochem. Physiol.* 10: 57-93.
- 114-TEMPLE, S. J., B. J. DRUMMOND, J. E. TOFTE and M. McCASLIN. 2002. Maximizing expression of transgenic traits in autopolyploid plants. *In*: C. Sheaffer and G. R. Bauchan (ed.) Report 38<sup>th</sup> North American Alfalfa Improvement Conference. Sacramento, CA, USA, July 27-30, p. 42.
- 115-TESFAYE, M., N. S. DUFAULT, M. R. DORNBUSCH, D. L. ALLAN, C. P. VANCE and D. A. SAMAC. 2003. Influence of enhanced malate dehydrogenase expression by alfalfa on diversity of rhizobacteria and soil nutrient availability. *Soil Biol. & Biochem.* 35: 1103-1113.
- 116-TESFAYE, M., S. J. TEMPLE, D. L. ALLAN, C. P. VANCE and D. A. SAMAC. 2001. Overexpression of malate dehydrogenase in transgenic alfalfa enhances organic acid synthesis and confers tolerance to aluminium. *Plant Physiol.* 127: 1836-1844.
- 117-TWAMLEY, B. E. 1974. Recurrent selection in forages. *Plant Breeding Abst.* 44: 613-616.
- 118-TYSDAL, H. M. and B. H. CRANDALL. 1948. The polycross progeny performance as an index of the combining ability of alfalfa clones. *J. Am. Soc. Agronomy* 40: 293-306.
- 119-TYSDAL, H. M., T. A. KIESSELBACH and H. L. WESTOVER. 1942. Alfalfa breeding. *Univ. of Nebraska, Agr. Exp. Stn. Res. Bull.* 124, 46 p.
- 120-VASQUEZ, M. D., C. POSCHENRIEDER, I. CORRALES and J. BARCELO. 1999. Change in apoplastic aluminium during the initial growth response to aluminium during the initial growth response to aluminium by roots of a tolerant maize variety. *Plant Physiol.* 119: 435-444.
- 121-VELDE, M., D. UNDERSANDER, P. SUN, D. GARDNER, S. WAGNER, B. AMDERSON, C. BRUMMER, J. HANSON, R. LEEP, K. ROOZEBOOM, C. SHEAFFER, G. SHEWMAKER, K. SILVERIA, M. SMITH, D. SWANSON, R. TODD, M. TRUMMELL, D. VIANDS and M. WITT. 2002. Forage yield response of alfalfa to percent of hybridism. *In*: C. Sheaffer and G. R. Bauchan (ed.) Report 38<sup>th</sup> North American Alfalfa Improvement Conference. Sacramento, CA, USA, July 27-30, p. 28.
- 122-VIANDS, D. R., P. SUN and D. K. BARNES. 1988. Pollination control: mechanical and sterility. *In*: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill (Jr) (ed.) *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. ASA-CSSA-SSSA Agronomy Series 29. Madison, WI, USA, pp. 931-960.
- 123-VILLAGRACIA, M. R., T. E. CARTER, T. W. RUFTY, A. S. NIEWOEHNER, M. W. JENNETTE and C. ARELLANO. 2001. Genotypic rankings for aluminium tolerance of soybean roots grown in hydroponics and sand culture. *Crop Sci.* 41: 1499-1507.
- 124-VOIGT, P. W. and J. A. MOSJIDIS. 2002. Acid-soil resistance of forage legumes as assessed by a soil-on-agar method. *Crop Sci.* 42: 1631-1639.
- 125-VOIGT, P. W. and H. W. GODWIN. 1997. A soil-on-agar method to evaluate acid-soil resistance in white clover. *Crop Sci.* 37: 1493-1496.
- 126-WINICOV, I. 1998. New molecular approaches to improving salt tolerance in crop plants. *Annals of Botany* 82: 703-710.

# Capítulo 6

## Biotecnología aplicada al mejoramiento genético de alfalfa

*Ing. Agr. (DEA) Raúl D. Ríos,  
Dr. Fernando Ardila,  
Ing. Agr. (M Sc). Elba M. Pagano,  
Lic. María Cristina Gómez  
Ing. Agr. (M Sc). Pascual M. Franzone  
Instituto de Genética  
«Ewald A. Favret», CICVyA, INTA, Castelar*



## Mejoramiento genético y biotecnología de plantas

El mejoramiento genético se originó hace aproximadamente 10.000 años, cuando el hombre experimentó una de las transiciones más importantes de su historia al transformarse de cazador/recolector en agricultor. Así comenzó el proceso de la domesticación de las plantas y animales. En el siglo XX, con el desarrollo de la genética y de otras ciencias relacionadas, se dio el contexto adecuado para el diseño de los métodos de mejoramiento actualmente utilizados.

El mejoramiento genético convencional se basa en la existencia de variabilidad genética para los caracteres que se desea mejorar y se vale de la reproducción sexual para la modificación de los mismos. Este hecho hace que el aprovechamiento de la variabilidad esté restringido por barreras de cruzabilidad. Por otra parte, la obtención de nuevos cultivares por estos métodos requiere de varias generaciones, lo que insume significativos períodos; además, para muchos caracteres de importancia agronómica, la selección resulta ineficiente. El desarrollo de la Biotecnología moderna permite superar, en muchos casos, estas limitaciones, abriendo nuevas perspectivas para la mejora genética de las plantas.

### Marcadores moleculares

Los marcadores genéticos clásicos, que han sido intensamente utilizados tanto en el desarrollo de la genética como del mejoramiento vegetal, corresponden a caracteres morfofisiológicos y se caracterizan por su fácil detección y por no ser influenciados en su expresión por el ambiente. Sin embargo, su empleo se ve esencialmente restringido por su bajo número, su efecto fenotípico y su disponibilidad reducida a genotipos particulares.

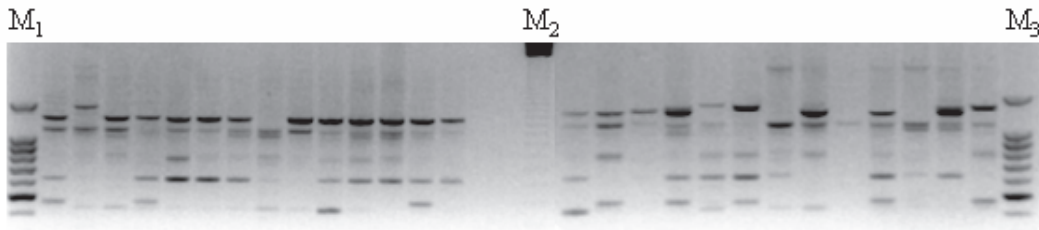
El desarrollo de marcadores moleculares, primero basados en proteínas y luego en el ADN mismo, ha permitido superar con gran efectividad las limitaciones mencionadas precedentemente. Este tipo de marcadores se sustenta en la hibridación o en la amplificación molecular. Este último proceso tiene como base la reacción en cadena de la polimerasa o PCR (siglas de su denominación en inglés *polymerase chain reaction*). Para una descripción técnica de los diferentes marcadores moleculares y de sus aplicaciones se sugiere consultar a Ferreira y Grattapaglia (31) y a Martín (49). A modo de síntesis, puede mencionarse que los marcadores moleculares se utilizan para varios fines, entre los que se pueden mencionar la elaboración de mapas genéticos, la caracterización de variabilidad genética del germoplasma utilizado en mejoramiento, la identificación de regiones genómicas codificantes para QTLs (loci para caracteres cuantitativos), la selección asistida, la detección de grupos heteróticos y la identificación de cultivares por huellas dactilares genéticas.

El análisis genético en alfalfa no es sencillo debido a que es una especie autotetraploide, con herencia tetrasómica. Dentro del género *Medicago* se utilizaron diversos marcadores moleculares (55), tales como polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción o RFLP (45), ADN polimórfico de amplificación aleatoria o RAPD (6, 14, 23, 35), y microsatélites (26, 63). En alfalfa cultivada, estos marcadores fueron principalmente usados para estimar relaciones genéticas, para desarrollar un mapa genético (13), para analizar la variabilidad genética en especies diploides anuales, para el mapeo de QTLs (1) y para el estudio de la heterosis (59).

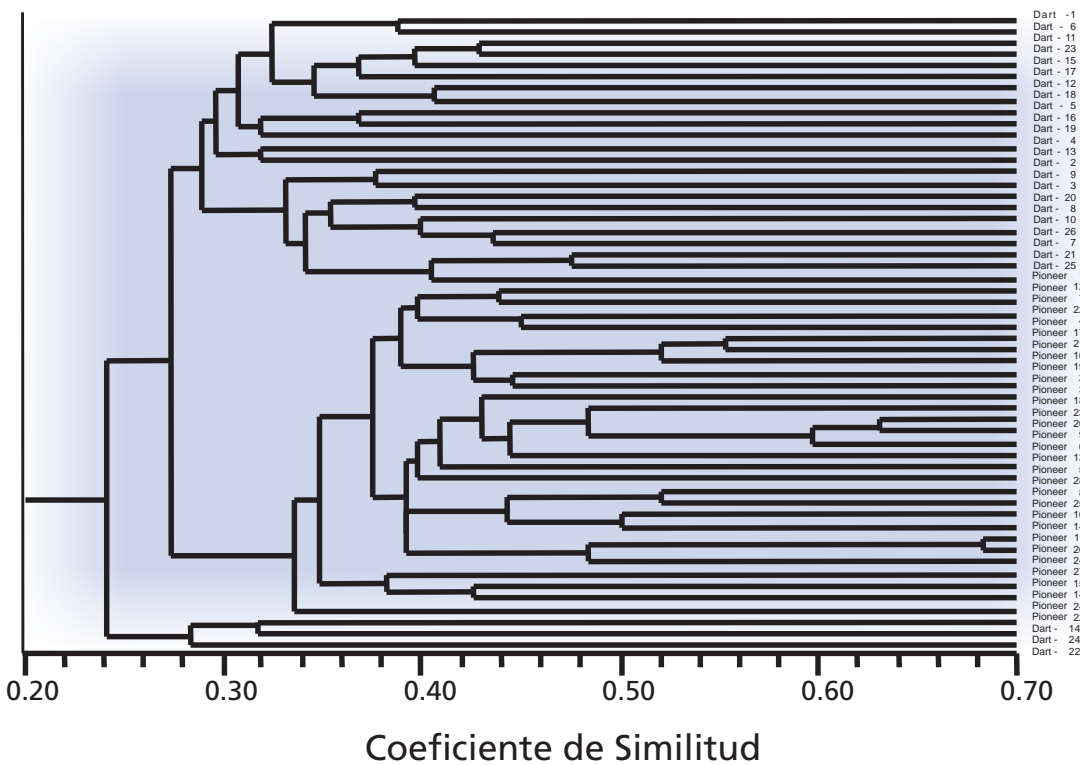
En el Laboratorio de Biotecnología de Forrajeras del Instituto de Genética «Ewald A. Favret» (IGEAF), CICVyA-INTA Castelar, se ajustó el uso de la metodología RAPD para estudiar la variabilidad genética en poblaciones de alfalfa (Figura 1). Se analizaron individuos de los cultivares 5715 (n=28) y Dart (n=26), utilizando 8 *primers* diferentes. Si bien las dos poblaciones analizadas se diferenciaron claramente en el fenograma desarrollado (Figura 2),



se destacó también la baja similitud detectada tanto a nivel inter (30%) como intrapoblacional (10, 11). Estos resultados, que revelan una enorme variabilidad genética, son coincidentes con lo observado por otros investigadores. Así, Ghérardi y col. (35), en un estudio de 8 poblaciones naturales y cultivadas de *M. sativa* y *M. falcata*, hallaron un alto nivel de variación genética dentro y entre poblaciones (67-75 % de polimorfismo), destacando que, con los *primers* estudiados, no fue posible hallar 2 individuos con el mismo patrón de bandas. Crochemore y col. (23) sostuvieron que la variación dentro de las poblaciones de alfalfa puede ser muy grande, probablemente debida a la reproducción cruzada y a la autotetraploidía.



**FIGURA 1** - Perfil de amplificación obtenido en diferentes individuos del cv Dart con el uso de la metodología RAPD y el primer OPA6.  $M_1$  y  $M_3$ = marcadores de peso molecular 100 bp; y  $M_2$ = marcador de 123 bp.



**FIGURA 2** - Fenograma obtenido por la técnica de UPGMA (unpaired group mean average) en base al perfil de amplificación de individuos de los cultivares 5715 y Dart con la metodología RAPD.

## Genómica

Los avances producidos en los últimos años en la genética molecular y la bioinformática dieron lugar al desarrollo de la Genómica, generando una verdadera revolución en los métodos de estudio y la comprensión de los procesos biológicos. Para una revisión sobre el

tema se aconseja consultar a Echenique y col. (29). La genómica estructural consiste en la determinación de la secuencia nucleotídica completa de un genoma, mientras que la genómica funcional se refiere al estudio de los productos que expresa un genoma determinado, sea a nivel de transcritos (transcriptómica), de proteínas (proteómica) o de metabolitos (metabolómica).

Para el desarrollo de la genómica vegetal se seleccionan especies «modelo», que presenten características biológicas favorables y que, en cierto modo, representen a otras especies con mayor importancia agronómica. En el caso del género *Medicago* se estudia como especie «modelo» a *M. truncatula*, que presenta las siguientes ventajas: tiene un genoma pequeño, es diploide y autógena, tiene un tiempo de generación corto, produce mucha semilla y es una especie muy cercana a la alfalfa. En la Fundación «Samuel Roberts Noble», ubicada en Ardmore, Oklahoma, EE.UU., se desarrolla no sólo un proyecto de genómica funcional en *M. truncatula* (50), sino que además se inició recientemente otro de genómica estructural. Por otro lado, cabe destacar que *M. truncatula* es también el modelo más estudiado a nivel genómico en la familia de las leguminosas. Dada la proximidad de esta especie con la alfalfa, se considera que los avances que se produzcan en los proyectos mencionados tendrán gran impacto en el mejoramiento de esta última. En ese contexto, se espera poder conocer las bases genéticas de muchos procesos biológicos de importancia agronómica; desarrollar marcadores moleculares perfectos, que correspondan a alelos de interés concreto en el mejoramiento; disponer de secuencias codificantes y regulatorias para su utilización en Ingeniería Genética; etcétera.

## Transformación genética

El mejoramiento genético convencional de la alfalfa, en términos generales, ha resultado exitoso para el desarrollo de cultivares comerciales. Sin embargo, en algunos casos particulares, la falta de variabilidad genética hace que éste no siempre sea eficiente para la mejora de algunos caracteres de interés, como resistencia a ciertas plagas o enfermedades fúngicas, resistencia a herbicidas, y aumento de la calidad forrajera. La metodología de transformación genética, que posibilita la introducción asexual de genes en las plantas, permite revertir situaciones como ésta, en las cuales la variabilidad genética disponible para los programas de mejoramiento convencionales no es suficiente.

La transformación genética de una especie vegetal permite introducir en su genoma genes de distinto origen filogenético, que pueden provenir de otras especies vegetales, hongos, virus, bacterias o animales. Conviene destacar que esta tecnología aporta variabilidad genética conocida sin alterar el fondo genético, hecho *per se* relevante ya que la creación de cultivares es un proceso acumulativo, donde se persigue la incorporación de características favorables sin perder las mejoras logradas anteriormente. Por otro lado, a través del uso de la transformación genética, también es posible modificar la expresión de genes ya presentes en el genoma de la especie a transformar. Asimismo, es importante reconocer la importancia de esta tecnología no sólo como herramienta tecnológica innovadora para el mejoramiento genético sino también como medio para generar conocimientos básicos acerca de la función de genes específicos. Esto último es particularmente relevante, ya que los diversos proyectos genómicos en desarrollo permitirán descubrir un gran número de genes cuya función deberá ser determinada. De esta manera, se podrá aportar información acerca de la base genética de los caracteres productivos en los cultivos, lo que constituirá un insumo de gran valor para la creación de nuevas variedades.

## ***Importancia y aplicaciones de las plantas transgénicas***

Las primeras plantas transgénicas experimentales fueron obtenidas a mediados de los años 80. La disponibilidad de estos materiales permitió importantes avances en el área del conocimiento de las ciencias vegetales y también su aplicación para el mejoramiento genético vegetal. Como consecuencia de esto último, los primeros cultivares transgénicos llegaron al mercado a partir de 1995. Conviene destacar la rápida adopción que tuvieron estos productos en el mundo y particularmente en nuestro país. En 2004 se cultivaron en el mundo 81 millones de hectáreas con variedades transgénicas (41). El 97,6% de esta superficie global se distribuyó tan sólo entre 6 países: EE.UU., Argentina, Canadá, Brasil, China y Paraguay. El 2,4% restante se repartió entre otros 9 países. Prácticamente, la totalidad de la superficie indicada estuvo ocupada por 4 cultivos: soja (59,7%), maíz (23,8%), algodón (11,1%) y colza (5,3%). Los caracteres transgénicos que presentaron estos cultivos fueron resistencia a herbicidas (72,3%), resistencia a insectos (19,2%), o una combinación de ambos (8,4%).

Es oportuno mencionar que para que un cultivo transgénico pueda ser comercializado, debe cumplir con un estricto circuito regulatorio. En la Argentina éste involucra: a) un análisis de bioseguridad ambiental, que está a cargo de la Comisión Nacional Asesora en Biotecnología Agropecuaria (CONABIA); b) un análisis de bioseguridad alimentaria, que es responsabilidad del Servicio Nacional de Sanidad Animal y Calidad Agroalimentaria (SENASA), y c) un análisis de las posibles consecuencias comerciales para nuestro país, que está a cargo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería Pesca y Alimentos (SAGPyA). Actualmente, los eventos de transformación que cuentan con autorización para ser comercializados en la Argentina son: i) soja: tolerancia a glifosato; ii) maíz: resistencia a lepidópteros, tolerancia a glufosinato de amonio y tolerancia a glifosato, y iii) algodón: resistencia a lepidópteros y tolerancia a glifosato. Desde 1991, la CONABIA (consultar <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>), ha autorizado 670 solicitudes para liberaciones a campo, que incluyen diferentes eventos de transformación en distintas especies y comprenden tanto trabajos de investigación básica como proyectos aplicados.

Los cultivares transgénicos actuales corresponden a lo que se denomina la «primera generación», que tiene por objetivo el aumento de la productividad de los cultivos, la reducción en el uso de agroquímicos, la conservación de los recursos naturales (tierra arable, agua y energía), la reducción de la contaminación ambiental y el incremento de los beneficios para la salud humana que se derivan de todos los aspectos anteriores (72). Se considera que la «segunda generación» de cultivares transgénicos tendrá más beneficios directos para los consumidores, como el mejoramiento de la calidad nutricional (proteínas, aceites, vitaminas y minerales), la eliminación de alérgenos, la fitorremediación (recuperación de ambientes contaminados mediante el uso de plantas), y la utilización de plantas como biorreactores para la expresión de proteínas recombinantes (producción de vacunas comestibles, anticuerpos y otras proteínas de uso terapéutico o industrial) la liberación de alfalfa RR se concretó en EE.UU. y otros países en 2005. La denominada «tercera generación» de cultivares transgénicos se basará en la información producida por los proyectos genómicos y tendrá por objeto resolver cuestiones como la modificación de la arquitectura de la planta, la manipulación de la floración, el mejoramiento de la eficiencia fotosintética, la manipulación de la heterosis y la apomixis, etcétera.

Es de notar que hasta el presente no han habido, en el mundo, liberaciones comerciales de cultivares transgénicos en plantas forrajeras. Como productos próximos a ser lanzados podemos mencionar un trébol blanco inmune al virus del mosaico de la alfalfa (G. Spangenberg, PBC-PIRVic, Victoria, Australia, comunicación personal) y alfalfas RR o resistentes al glifosato (*B. Knipe, FGI, Idaho, USA, comunicación personal*). Es interesante aclarar que en este último caso, y dado que el glifosato tiene como blanco de acción a la enzima 5-

enolpiruvil shikimato 3-fosfato sintetasa (EPSPS), la tecnología RR se basa en la expresión transgénica de una EPSPS que no es inhibida por el herbicida (60, 71).

De un modo amplio, existen varias razones para explicar el retraso mencionado en las especies forrajeras respecto de otros cultivos. En primer lugar se debe mencionar que el desarrollo de protocolos eficientes de transformación genética requiere de una optimización que debe ser ajustada para cada especie en particular; en consecuencia, los mayores esfuerzos se concentraron primeramente en el desarrollo de tecnologías para los cultivos de cosecha, cuyos valores de mercado lo hacen más atractivos para el sector privado y permiten absorber los mayores costos que suponen las tecnologías más sofisticadas. En segundo lugar puede esgrimirse la necesidad de que el germoplasma transgénico deba posteriormente incorporarse al proceso de mejoramiento genético convencional; en ese contexto, el hecho de que los cultivares de las especies forrajeras sean usualmente poblaciones –y por ende, genéticamente heterogéneas– constituye una dificultad adicional, ya que durante el proceso de síntesis del cultivar se hace imprescindible la detección de los genotipos transgénicos entre la progenie. En tercer lugar puede argumentarse que, a diferencia de lo que ocurre con los cultivos de cosecha, existe una percepción generalizada de que las plantas forrajeras constituyen un insumo menor dentro de un sistema productivo más complejo. Finalmente, el uso de pasturas consociadas puede agregar una complejidad mayor al sistema de producción, lo que es fácilmente visualizable si se considera el caso de una forrajera transgénica resistente a un herbicida específico, cuya aplicación podría afectar a la/s especie/s acompañante/s.

La obtención de plantas transgénicas ofrece oportunidades únicas para el desarrollo de variabilidad genética novedosa en especies forrajeras. En el presente, las principales temáticas de aplicación de esta tecnología se centran en el mejoramiento de la calidad forrajera, la resistencia a plagas y patógenos, la tolerancia a estreses abióticos y la manipulación del crecimiento y del desarrollo (68).

### ***Requerimientos para la obtención de plantas transgénicas***

Para la obtención de plantas transgénicas es necesario disponer de los transgenes a introducir (gen marcador seleccionable y uno o más genes de interés), de una metodología eficiente para la transferencia al genoma vegetal y de un protocolo eficiente de cultivo de tejidos (24).

### **Cultivo de tejidos vegetales**

Los métodos de transformación más utilizados actualmente se basan en la obtención de células transgénicas y posterior recuperación de plantas completas y fértiles a partir de las mismas, a través del cultivo y selección *in vitro*. En este proceso, los genes marcadores seleccionables, generalmente de origen bacteriano, cumplen un rol de relevancia, sea para poner a punto un protocolo de transformación o como acompañantes de genes de interés que se desean introducir. El gen marcador seleccionable otorga a las células transgénicas que lo expresan una importante ventaja, con respecto a las células no transgénicas, al permitirles crecer en un medio de cultivo que contiene el agente selectivo correspondiente. Entonces, si el gen marcador codifica para una proteína que confiere resistencia a agentes fitotóxicos como antibióticos o herbicidas, las células que lo expresen podrán crecer y desarrollarse en un medio de cultivo que contenga dichos agentes selectivos mientras que las células no transgénicas no lo harán. La obtención de plantas completas a partir de células es posible gracias al aprovechamiento de la totipotencia de algunas células vegetales. En la mayoría de las especies se observa una importante influencia del genotipo en la respuesta al

cultivo *in vitro*. Por ello, cuando se usa esta tecnología con fines de mejoramiento genético es muy importante conocer la respuesta morfo-genética de distintos genotipos con adaptación local.

## Transgen

Los transgenes tienen una organización estructural equivalente a la de los genes de las plantas. Esta consiste en una secuencia codificante o segmento finalmente traducido acompañada de secuencias regulatorias apropiadas para su expresión en células vegetales. En este contexto, una de las secuencias más importantes es la del promotor, que es el sitio del ADN al que se le une la enzima ARN-polimerasa para iniciar el proceso de transcripción. Cabe destacar que la expresión génica es controlada básicamente por las secuencias regulatorias y no depende de la secuencia codificante. En la elección del promotor a utilizar en la construcción del transgen hay que considerar la especie vegetal a transformar, ya que su nivel y patrón de expresión pueden variar al ser utilizados en especies distintas a la de origen del mismo. Además, es necesario que el transgen disponga de una región no traducida en el extremo 3' del mismo, que incluya la señal de corte y poliadenilación (terminador), necesaria para el correcto procesamiento del transcrito correspondiente.

## Métodos de transformación

La pared celular impide la entrada del ADN en la célula, constituyendo un obstáculo que todos los métodos de transformación genética tienen que superar de algún modo. Sobre la base de la modalidad para hacerlo, los métodos de transformación se dividen en dos grandes grupos: a) mediados por *Agrobacterium*, vector biológico que participa del proceso de transferencia de ADN; y b) transformación directa o métodos físicos, donde por distintos mecanismos se introduce el ADN directamente en la célula. A continuación se ofrece una breve descripción de cada uno:

### a) Transformación mediada por *Agrobacterium*

*Agrobacterium tumefaciens* es una bacteria Gram-negativa y aeróbica obligada que vive en el suelo. Es capaz de desarrollar un crecimiento saprofítico o parasítico, en este último caso infectando una amplia variedad de especies de dicotiledóneas. Esta bacteria fitopatógena penetra por heridas y ataca células individuales, provocando su proliferación y dando como resultado la formación de tumores. La enfermedad resultante de este proceso se conoce como «agalla de la corona». La capacidad patogénica de esta bacteria está asociada a la presencia de un plásmido, llamado Ti (por tumor-inducing), presente en algunas agrobacterias. Durante la patogénesis, un fragmento de este plásmido, llamado T-DNA (por transfer-DNA), es transferido a la célula vegetal, donde se integra al ADN cromosómico de la planta y se expresa, causando la proliferación de células de la planta a través de la síntesis y la alteración de la respuesta a hormonas vegetales. Es decir que el T-DNA contiene genes que se expresan eficientemente en la célula vegetal infectada y producen la síntesis de hormonas vegetales. Éstos son llamados oncogenes porque son los responsables de la proliferación anormal del tejido. Además, el T-DNA contiene otros genes que provocan la síntesis de aminoazúcares denominados opinas, que constituyen una fuente de carbono y nitrógeno para la bacteria.

El T-DNA está delimitado por dos repeticiones de 25 pares de bases (bp) llamadas bordes derecho e izquierdo. Estos bordes son los únicos elementos estructurales necesarios para dirigir el procesamiento del T-DNA. Cualquier fragmento de ADN ubicado entre estos bordes puede ser transferido al genoma de la célula vegetal.



Este mecanismo de Ingeniería Genética natural es aprovechado para la transferencia de genes de interés a las plantas. Para ello, los oncogenes y los genes de síntesis de opinas son reemplazados por un gen marcador seleccionable y por un gen de interés a transferir. Para la transformación de plantas con *Agrobacterium* se utiliza habitualmente el método llamado del «explante» (40). Éste consiste en inocular un explante con *A. tumefaciens*, para lo cual se deja la bacteria en contacto con el mismo por un tiempo de usualmente dos días, durante los cuales se produce la transferencia del T-DNA que contiene el gen marcador seleccionable y el (o los) transgenes de interés. Posteriormente se transfieren los explantes a un medio de cultivo que contiene un antibiótico (que actúa como bacteriostático para detener el crecimiento bacteriano) y el agente selectivo correspondiente al gen marcador seleccionable utilizado. Una vez completado el protocolo de cultivo y selección *in vitro*, se recuperan las plantas transgénicas. La puesta a punto de un protocolo eficiente y reproducible de transformación mediada por *Agrobacterium* es un proceso complejo en el que, además de tener muy buen conocimiento de la respuesta al cultivo *in vitro* de la especie a transformar, hay que considerar varios aspectos tales como el genotipo vegetal, la cepa bacteriana, el tejido «blanco» de transformación y el control del estrés durante todo el proceso.

### **b) Transformación directa**

La primera metodología de transformación genética de plantas desarrollada fue la de *A. tumefaciens*. Inicialmente, esta tecnología no resultó de utilidad para abordar la transformación de especies de gran importancia económica, como los cereales, debido a que éstos no son hospedantes naturales de esta bacteria. Este hecho condujo al desarrollo de los métodos físicos de transformación. En ellos el transgen es introducido en la célula vegetal mediante distintas técnicas tales como la transformación de protoplastos, la electroporación de tejidos, el uso de fibras de carburo de silicio y el bombardeo con microproyectiles.

El bombardeo con microproyectiles es el método directo más utilizado en la actualidad y consiste en un proceso por el cual micropartículas de metal, cubiertas con el ADN que se quiere introducir, son aceleradas por un gas comprimido y así, de manera directa, ingresadas en las células vegetales que se quieren transformar. Inicialmente, la fuerza impulsora de las partículas estaba dada por pólvora; posteriormente, ésta fue reemplazada por el gas helio comprimido, que permite una mejor regulación de la aceleración y de la distribución de microproyectiles, así como una mayor reproducibilidad entre diferentes bombardeos. Se utilizan microproyectiles de oro o tungsteno, que son químicamente inertes, con tamaños de 0,5 a 3  $\mu\text{m}$ , que, al ser disparados a gran velocidad, atraviesan la pared y las membranas de la célula vegetal bombardeada sin causarle daños letales. Como «blanco» de bombardeo se pueden emplear diversos tipos de explantes, desde células o protoplastos, tejidos organizados en embriones y meristemas, hasta plántulas completas. El explante es generalmente sometido a un tratamiento osmótico pre y posbombardeo que produce plasmólisis celular evitando que el impacto y la penetración de las partículas dañen las células.

Es importante destacar que en los dos métodos de transformación presentados, la integración del transgen en el genoma nuclear se produce al azar. Como consecuencia de ello, diferentes plantas transgénicas provenientes de un mismo experimento presentan inserciones en distintos sitios del genoma receptor. Esto es de gran importancia ya que, si bien los transgenes tienen todas las secuencias regulatorias necesarias para su expresión, tanto el nivel como el patrón de expresión del transgen pueden estar afectados por la posición que ocupe en el genoma de la planta transformada, fenómeno que se conoce como «efecto de posición». Así, la expresión fenotípica de un transgen será diferente en distintas plantas transgénicas que contienen el mismo transgen, por lo cual para clarificar la situación se considera a cada una de ellas como eventos de transformación distintos.

# Biología de alfalfa en la Argentina

En esta sección se describirá el avance producido en esta temática en nuestro país. La mayor parte de las investigaciones efectuadas se realizaron en el Laboratorio de Biotecnología de Forrajeras del IGEAF del CICVyA, INTA-Castelar.

## Cultivo *in vitro*

Como se mencionó anteriormente, la respuesta al cultivo *in vitro* de las plantas es dependiente del genotipo en la mayoría de las especies. Por ello, la aplicación de la transformación genética al mejoramiento vegetal depende en gran medida de la disponibilidad de genotipos con muy buena respuesta al cultivo *in vitro*.

En alfalfa, la regeneración *in vitro* se produce habitualmente por embriogénesis somática (9), lo que fuera comunicado por primera vez por Saunders y Bingham (62). Estos mismos autores, estudiando dos poblaciones de alfalfa observaron regeneración en sólo unas pocas plantas, lo que sugería un efecto del genotipo sobre la misma. Posteriormente, el análisis de la aptitud para la regeneración *in vitro* en diferentes fuentes de germoplasma de alfalfa mostró una importante variabilidad para este carácter tanto dentro como entre poblaciones (52, 12, 19, 7). Bingham y col. (8) desarrollaron, por selección recurrente, las poblaciones Regen-S y Regen-Y, ambas de alta capacidad de regeneración, y aportaron evidencia indirecta acerca del control genético de este carácter. El análisis genético de la regeneración *in vitro* por embriogénesis somática en alfalfa fue realizado tanto a nivel diploide (58) como tetraploide (73, 37, 44, 22).

CUADRO 1- Modelo genético propuesto para la herencia de la embriogénesis somática en alfalfa. Adaptado de Moltrasio y col. (53)

Genotipo	Regeneración <i>in vitro</i>
A --- B ---	regenera
A --- bbbb	no regenera
aaaa B --	no regenera
aaaa Bb.	no regenera



FIGURA 3 – Metodología de cultivo *in vitro* empleada en el IGEAF INTA Castelar para la regeneración de una planta completa de alfalfa a través del uso de explantes y diferentes medios nutritivos: 1. Secuencia de formación de callos y de embriones somáticos a partir de pecíolos o folíolos de alfalfa. 2. Crecimiento de un vástago a partir de un embrión somático. 3. Enraizamiento. 4. Plántula completa de alfalfa *in vitro*. 5. Planta rustificada y establecida en invernáculo. 6. Multiplicación clonal por estacas.

En el IGEAF, con el objetivo de identificar genotipos de alfalfa adaptados a nuestro país y con capacidad de regeneración *in vitro*, se estudiaron 12 poblaciones argentinas y 3 cultivares estadounidenses. Sólo se observó regeneración en el cv. nacional Cordobesa INTA, pero con una frecuencia baja. Posteriormente, el mismo grupo de investigación aisló genotipos con capacidad de regeneración a partir del cultivar canadiense Rambler. Asimismo, se realizaron estudios de herencia del carácter a partir del cruzamiento entre un clon derivado de Rambler, seleccionado por alta capacidad de regeneración, y uno de origen local, sin capaci-

dad de regeneración. El estudio incluyó también las autofe-cundaciones de ambos genotipos (53). Los resultados mostraron, en coincidencia con estudios de otros autores, que la embriogénesis somática en alfalfa está bajo el control de dos genes complementarios (Cuadro 1).

En una etapa posterior, el mismo grupo de investigadores realizó la introgresión de alelos favorables para la embriogénesis somática en poblaciones elite de alfalfas argentinas, produciendo 27 genotipos con buena capacidad de regeneración. Dos de ellas, llamadas *INTA R1* e *INTA R2*, mostraron altos porcentajes de explantes que producían callos y alto número de embriones somáticos por callo, lo que equivale a decir elevada capacidad y multiplicidad de regeneración, respectivamente. Estos resultados demostraron que los alelos favorables para la embriogénesis somática, derivados del cv. *Rambler*, se expresan en un fondo genético elite argentino y son apropiados para la aplicación de metodologías de mejoramiento genético que requieren del cultivo *in vitro* (53). La figura 3 ilustra las distintas etapas de la regeneración, vía embriogénesis somática, de una planta de alfalfa a partir de folíolos o pecíolos.

## Puesta a punto de la transformación genética

### *Agrobacterium tumefaciens*

La transformación genética de alfalfa a través de *A. tumefaciens* ha sido lograda por varios grupos de investigación (64, 18, 25, 39, 5, 51, 27, 70). En nuestro país, el grupo de Biotecnología de Forrajeras del IGAEF desarrolló un protocolo eficiente de transferencia de genes mediada por *A. tumefaciens*. Para ello se utilizaron los clones C2-3 y C2-4, cedidos gentilmente por los Dres. Brian McKersie y Steve Bowley de la Universidad de Guelph, Canadá, y los clones INTA R1 e INTA R2, mencionados anteriormente y desarrollados en el IGAEF.

Este protocolo consiste en la inoculación de pecíolos o embriones somáticos con la bacteria, cocultivo y posterior cultivo *in vitro* en medio selectivo. Como marcador seleccionable se utiliza el gen *npt II* y como agente selectivo el antibiótico kanamicina. Cabe mencionar que en las actividades iniciales de este desarrollo se contó con la valiosa colaboración del Dr. B. McKersie. Posteriormente, se desarrolló un protocolo alternativo que utiliza el gen *bar* como marcador seleccionable y glufosinato de amonio como agente selectivo (66, 67).

Es importante mencionar que el complejo proceso de interacción *A. tumefaciens*/alfalfa está afectado por un número de variables. Entre ellas se pueden mencionar al tipo de explante «blanco» de transformación, a la cepa bacteriana utilizada y al genotipo vegetal inoculado. Complementariamente, se ha observado que el proceso de transformación, además de las variables antes mencionadas, es afectado también por una amplia gama de condiciones experimentales de difícil control. Como ejemplo de esto último se puede mencionar la «calidad» del explante que se obtiene en condiciones de invernáculo, que abarca aspectos como su competencia para ser cultivado *in vitro* y para ser transformado por *A. tumefaciens*.

No obstante, las consideraciones antedichas, muestran claramente que para la transformación genética de alfalfa mediada por *A. tumefaciens* se debe tener en cuenta que:

- Tanto pecíolos como embriones somáticos pueden ser usados como «blanco» de transformación, con una eficiencia razonable. Esto es importante ya que cuando, por razones de manejo de invernáculo o por falta estacional de respuesta *in vitro* de alguno de los clones, no es posible utilizar pecíolos como explante, se pueden utilizar embriones somáticos. Una ventaja de estos últimos es que su respuesta no se ve influida por el ambiente, dado que fueron producidos en condiciones controladas

- Las 3 cepas de *A. tumefaciens* estudiadas (AGL 1, LBA 4404 y C58 C1 Rif) han demostrado ser eficientes.
- Los genotipos de alfalfa antes mencionados han demostrado ser competentes para ser transformados por esta vía.

### **Bombardeo con microproyectiles**

A diferencia de la transformación genética de alfalfa vía *A. tumefaciens*, que ha sido lograda por varios laboratorios, los de obtención de plantas transgénicas de alfalfa mediante bombardeo con microproyectiles son escasos (56). La puesta a punto de esta metodología es de interés, ya que tiene la ventaja de no requerir vectores de transformación complejos, aspecto relevante en investigaciones en las cuales se trabaja con varias construcciones génicas diferentes. Recientemente, el laboratorio del IGEAF desarrolló un protocolo eficiente para la obtención de plantas transgénicas de alfalfa mediante bombardeo con microproyectiles (21). El mismo utiliza embriones somáticos como blanco de bombardeo (48) y emplea un cañón génico del tipo P.I.G. (*Particle Inflow Gun*), construido de acuerdo al diseño original de Finer y col. (32), que utiliza gas helio a presión para impulsar los microproyectiles que transportan el ADN a las células. La selección de las células *in vitro* se basa en el uso del gen marcador seleccionable *npt II* y el agente selectivo kanamicina. Con este protocolo se demostró la factibilidad de obtener, con una eficiencia razonable, plantas transgénicas de alfalfa por bombardeo con microproyectiles.

### **Aspectos de bioseguridad ambiental de alfalfa en la Argentina**

Uno de los aspectos críticos a considerar en la liberación al gran cultivo de variedades transgénicas es la bioseguridad ambiental, que está relacionada con las características biológicas propias de la especie vegetal transformada genéticamente. Entre las más importantes, la CONABIA considera especialmente la capacidad de cruzarse con especies silvestres, el potencial para convertirse en maleza, y la condición de especie naturalizada o no.

En este contexto, cabe destacar que las especies naturalizadas del género *Medicago* que forman parte de los pastizales naturales en nuestro país son *M. lupulina*, *M. polymorpha* y *M. arabica* (15, 16); que las mismas son anuales; y que, según Lesisns y Gillies (46) y Sandguen y col., (61), los medicagos anuales no se hibridan con los perennes. Por lo tanto, no se considera que la dispersión de transgenes por el polen sea un riesgo para cultivar alfalfa transgénica en la Argentina.

También es importante mencionar que en nuestro país la alfalfa no es una especie naturalizada, de modo que no se observan plantas creciendo en los costados de los caminos, ríos, etc. Además, no sólo no se ha descripto que *M. sativa* tenga comportamiento de maleza, sino que Peters y Rossanigo (57) aseveran que el control químico de malezas resulta muchas veces una necesidad impostergable en el establecimiento de un alfar, debido a que las plántulas de alfalfa no pueden competir con éxito con las malezas, denotando su falta de agresividad, motivo por el cual la potencialidad de la alfalfa transgénica de transformarse en maleza puede considerarse mínima.

Por lo tanto, sobre la base de la importancia económica de la alfalfa en la Argentina y a sus aspectos de bioseguridad ambiental (especie no naturalizada, de muy baja potencialidad para convertirse en maleza, y de nula cruzabilidad con especies silvestres relacionadas), se puede concluir que esta especie constituye un excelente candidato, entre las especies forrajeras, para el desarrollo de investigaciones en el área de la Ingeniería Genética. El obje-



tivo debería ser el desarrollo de cultivares transgénicos que satisfagan, en el mediano-largo plazo, las demandas propias de nuestro sistema productivo.

## **Trabajos en desarrollo en el IGEAF**

Las investigaciones llevadas a cabo en el IGEAF referidas al desarrollo de materiales adaptados con alta capacidad de regeneración *in vitro* y a la puesta a punto de una metodología eficiente de transformación genética vía *A. tumefaciens*, permitieron la obtención de plantas transgénicas en diversos proyectos de investigación tanto básicos como aplicados. A continuación se hará una presentación de las temáticas que están en plena ejecución:

### **1.- Resistencia a insectos lepidópteros mediante genes Bt**

La isoca de la alfalfa (*Colias lesbia*) es una de las plagas más importante del cultivo en la Argentina, donde produce ataques todos los años, en los meses de verano, y provoca la pérdida de por lo menos el 10% de la producción (2). Al no haberse detectado resistencia a este insecto en el germoplasma de alfalfa, el desarrollo de cultivares resistentes por mejoramiento genético convencional está seriamente limitado. Además, la alfalfa es atacada por otras orugas defoliadoras (*Spodoptera frugiperda* y *Rachiplusia nu*) y por orugas cortadoras (*Agrotis malefida* y *Porosagrotis gypaetina*) (2).

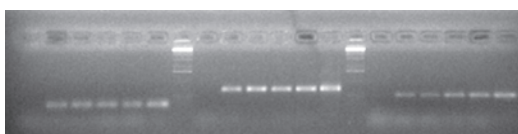
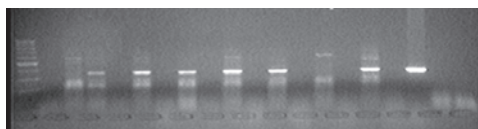
*C. lesbia* puede ser controlada eficientemente mediante el uso de insecticidas químicos; sin embargo, esta práctica constituye una amenaza para el ambiente y los insectos benéficos. Como alternativa al empleo de insecticidas químicos, se utilizan formulaciones comerciales de esporas de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt), que se pulverizan sobre el cultivo para el control de la isoca de la alfalfa. *B. thuringiensis* es un bacilo que se caracteriza por la formación de cristales de proteínas, conocidos como delta-endotoxinas. Estos cristales se forman durante la esporulación de la bacteria y tienen actividad tóxica para larvas de insectos (65). Una característica saliente de estas entomotoxinas es su especificidad, a punto tal que se clasifica a los cristales según su espectro de actividad insecticida. Así, los cristales tipo Cry I son tóxicos para lepidópteros, los Cry II para lepidópteros y dípteros, los Cry III para coleópteros, y los Cry IV para dípteros. Cuando el cristal es ingerido por un insecto susceptible en fase larvaria, llega a su intestino medio, se disuelve por la acción de los jugos intestinales a pH alcalino, y la delta-endotoxina sufre una proteólisis enzimática y da origen a la toxina activa, la cual se une a un receptor específico de las membranas epiteliales de las células del intestino generando poros. Estos poros desequilibran el balance osmótico y provocan la lisis celular en el intestino medio, deteniendo la ingesta del insecto y causándole, eventualmente, su muerte por deshidratación severa. Para una revisión exhaustiva sobre Bt ver Cannon (17).

El empleo a campo de preparaciones comerciales de estas entomotoxinas tiene el inconveniente de la su poca persistencia, debido a su degradación por acción de los rayos ultravioletas y a su remoción por las lluvias y el rocío. Sin embargo, la necesidad de reducir en forma sustentable las pérdidas provocadas por las isocas y el desarrollo que se produjo en los años 80 tanto en el clonado de genes como en la tecnología de transformación vegetal, llevaron a que se pensara en la obtención de plantas transgénicas capaces de expresar transgenes codificantes para proteínas insecticidas. Además, esto constituye una poderosa alternativa para reducir el uso de insecticidas químicos en el control de insectos plaga. Esta línea de investigación fue tan exitosa que ya a mediados de los '90 se comercializaban cultivares transgénicos con resistencia a insectos (30). Actualmente, en nuestro país se dispone de variedades Bt comerciales de maíz y algodón.

El no disponer de resistencia genética natural a *C. lesbia* en el germoplasma de alfalfa, así como la observación de que dicha plaga es controlada eficientemente con bajas dosis de formulaciones comerciales de esporas y cristales de proteínas Bt, abren la posibilidad para la

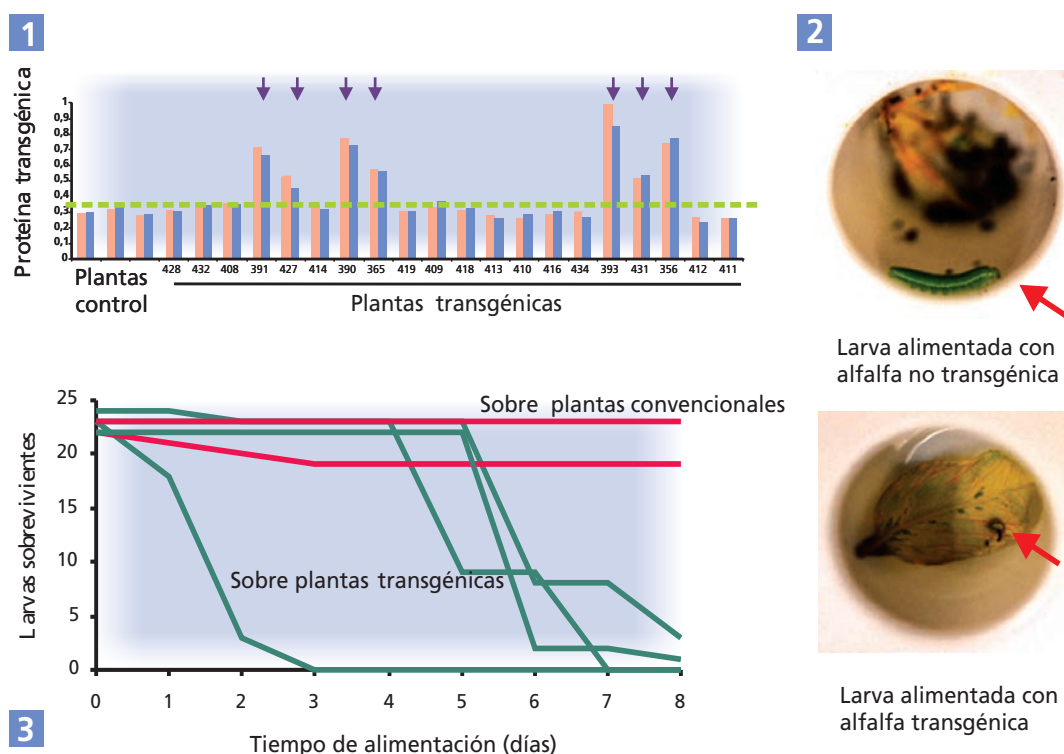


**A) Nivel estructural:** Ensayos de PCR permiten establecer la presencia de los transgenes en el genoma de las plantas.



**b) Nivel transcripcional:** El análisis por RT-PCR permite conocer la producción de RNA mensajeros a partir del transgen

**c) Nivel traduccional y funcional:** Las técnicas de ELISA posibilitan la detección de los productos proteicos de los transgenes y su cuantificación. De esta manera es posible evaluar todas las plantas transgénicas obtenidas y seleccionar los eventos transgénicos más promisorios (1). Estos participan de análisis biológicos para establecer su actividad insecticida. Para ello, se desafían larvas de *Colias lesbia* por alimentación con hojas de los eventos de alfalfa transgénica seleccionados (2). En este ensayo se evalúa diariamente la supervivencia de las larvas en condiciones ambientales controladas y las plantas cuyos folíolos muestran efectiva capacidad insecticida son seleccionadas para ensayos a campo (3).



**FIGURA 4** Evaluación a diferentes niveles de plantas transgénicas de alfalfa que contienen un gen de *Bacillus thuringiensis* IGFAF INTA Castelar

obtención de plantas transgénicas de alfalfa con expresión de proteínas insecticidas Bt para el control sustentable de la plaga.

En el Laboratorio de Biotecnología de Forrajeras del IGFAF se abordó la obtención de plantas transgénicas de alfalfa con un gen Bt. Para ello se utilizó un vector binario que, en su T-DNA, porta el gen marcador seleccionable *npt II* y parte de la secuencia codificante del gen *Cry IA(b)* de *B. thuringiensis* var *kurstaki*, cepa HD1 (34), bajo el control de un promotor doble 35S, un *enhancer* traduccional del virus del mosaico de la alfalfa, y el terminador T7. La construcción fue realizada en el Instituto de Biotecnología del CICVyA - INTA Castelar por el grupo liderado por el Dr. E. Hopp. Se obtuvieron plantas transgénicas de alfalfa en las

cuales se verificó por PCR la presencia de los transgenes *nptII* y *cryIA(b)*. La expresión transcripcional se evaluó por RT-PCR (*Reverse Transcriptase Polimerase Chain Reaction*). Estos estudios demostraron la estabilidad estructural tanto de los transgenes y como de su expresión en plantas transgénicas establecidas en el invernáculo 8 años atrás. La evaluación inmunoquímica de estas plantas permitió seleccionar algunas de ellas que expresan niveles de la proteína insecticida por arriba de los controles negativos. El ensayo biológico de las plantas seleccionadas por expresión de la proteína Bt se realizó en colaboración con el grupo del Dr. Daniel Basigalup, EEA Manfredi-INTA, y del Dr. Roberto Lecuona, IMYZA del CICVyA INTA Castelar. Estos ensayos permitieron confirmar la capacidad insecticida de algunas de las plantas transgénicas de alfalfa producidas (Figura 4).

## 2.- Resistencia a hongos fitopatógenos

Entre las principales enfermedades fúngicas de la alfalfa, por su grado de difusión y su capacidad para eliminar plantas, se encuentran la «fitóftora», la «corchosis», el «complejo de podredumbre de corona y raíz», la «antracnosis» y la «fusariosis». Existe además otro grupo de enfermedades, denominadas «foliares» –como la «mancha ocular» y el «manchón foliar amarillo»– que, si bien no matan plantas, ocasionan importantes pérdidas por disminución de la calidad y del rendimiento de forraje y por el debilitamiento general de la planta (38). En la Argentina no hay variedades de alfalfa con buenos niveles de resistencia a las enfermedades foliares, que en la Región Pampeana pueden alcanzar proyecciones de epifitias y ocasionar pérdidas anuales del orden de \$ 250 millones (38). Aun considerando que este valor es aproximado, resulta igualmente obvio que el daño económico producido por enfermedades fúngicas en alfalfa es muy importante.

En general, el control de enfermedades fúngicas en los cultivos es abordado mediante tres diferentes prácticas agronómicas: a) la rotación de cultivos, para evitar la concentración de inóculo en el suelo y los rastrojos; b) la aplicación de fungicidas, y c) el uso de cultivares resistentes. De todos ellos, el uso de cultivares resistentes es sin duda el método más práctico y económico. No obstante, la existencia de fuentes de resistencia genética convencional no está siempre disponible en muchos cultivos. El reciente desarrollo de métodos no sexuales para la transferencia de genes (transformación genética) permite superar esta limitación y abre nuevas perspectivas para el mejoramiento vegetal. En este contexto, a partir de la identificación molecular y el clonado de genes involucrados en la resistencia de las plantas a las enfermedades, se ha intentado incorporar resistencia «durable» a las mismas por ingeniería genética (69). La disponibilidad de protocolos de transformación genética y de secuencias codificantes para proteínas y péptidos potencialmente antifúngicos, hacen que la obtención de plantas transgénicas de alfalfa con expresión constitutiva de dichos genes aparezca como una contribución atractiva para la obtención de genotipos resistentes a todas las enfermedades mencionadas anteriormente.

En los últimos años se ha generado una importante cantidad de información básica sobre este tema. Por ejemplo, existe evidencia de que la expresión constitutiva de  $\beta$  1,3-glucanasas y quitinasas, solas y especialmente en combinación, puede ayudar a defender a las plantas frente al ataque de hongos (47). También Gao y col. (33) demostraron que las plantas transgénicas de papa que expresaban un gen codificante para defensina de alfalfa exhibían un control del hongo *Verticillium dahliae* equivalente al logrado utilizando fungicidas.

En el IGEAF, en colaboración con el grupo de la Dra. Berta Llorente de la UN Luján, se está trabajando en la obtención de plantas transgénicas de alfalfa que expresen los transgenes quitinasa,  $\beta$  1,3-glucanasa y una defensina vegetal. Hasta el presente se obtuvieron plantas que poseen el transgen quitinasa o glucanasa. La presencia, tanto del gen marcador seleccionable *npt II* como de los genes de interés, fue confirmada por PCR. Por otro lado, el uso de la técnica RT-PCR permitió detectar la expresión de los transgenes a nivel de ARNm en el 65% de las plantas obtenidas. Estos resultados confirman que, en esas plantas

transgénicas, las secuencias para glucanasa y quitinasa se expresan a nivel de transcripto en forma constitutiva. Además, se realizaron experimentos para determinar la actividad enzimática total de las plantas transgénicas, lo que permitió identificar eventos con expresiones de quitinasa mayores que los de plantas no transgénicas del mismo genotipo. Resta evaluar la respuesta de estas plantas frente a la presencia de hongos patógenos, para lo que se está trabajando en colaboración con el grupo de la Ing. Agr. Doris Barreto del IMYZA del CICVyA-INTA Castelar.

### **3.- Manipulación de la biosíntesis de taninos condensados para la obtención de alfalfa no productora de meteorismo**

El pastoreo directo de alfalfares presenta el riesgo de provocar meteorismo en los animales, que origina en nuestro país importantes pérdidas anuales. El meteorismo o «empaste» es causado por una retención en el rumen de los gases producidos por fermentación anaeróbica, principalmente metano y CO<sub>2</sub>. Normalmente, esos gases son eliminados por eructación; pero cuando en el rumen se forma un exceso de espuma, los gases quedan atrapados en pequeñas burbujas y no pueden ser expulsados, provocando una anormal dilatación de la cavidad ruminal. Esta distensión origina una disminución de la ingesta y, en los casos más severos, impide la respiración y provoca la muerte del animal.

No existe ningún método de reconocida eficacia para evitar el meteorismo. Sólo es posible, en algunos casos, reducir la incidencia y/o severidad del empaste mediante la combinación del manejo de la pastura y de los animales con el empleo de productos antiempaste. En el Capítulo 17 de esta publicación se ofrece una detallada discusión sobre cada uno de ellos.

Es relevante mencionar que nunca se reportó meteorismo en animales que pastoreaban leguminosas forrajeras que contienen taninos, tales como *Onobrichys viciifolia*, *Lotus corniculatus* o *L. uliginosis*. Kendall (43) fue el primero en sugerir que, en estas leguminosas, los taninos eran los responsables de prevenir el meteorismo porque, al precipitar las proteínas solubles que provocan la espuma, evitan su formación. Poco después, Jones y col. (42) demostraron que las sustancias que precipitaban las proteínas responsables de la producción de espuma eran los taninos, y sugirieron que si, por mejoramiento genético, se podía introducir en el trébol blanco la característica de producir taninos en el follaje, la planta mejorada tendría características «antiempaste».

Adoptando esta línea de razonamiento, Goplen y col. (36) consideraron la factibilidad de obtener, por mejoramiento convencional, una alfalfa que poseyera taninos en el follaje y que, por lo tanto, tuviera propiedades «antiempaste». Para ello, realizaron una exhaustiva evaluación del contenido de taninos en un alto número de germoplasmas de alfalfa, incluyendo 33 especies de *Medicago* anuales y 28 perennes, encontrando sólo taninos en la cubierta seminal de la alfalfa pero no en las hojas de ninguna accesión evaluada. Esta ausencia de variabilidad genética para la expresión de taninos en hojas de alfalfa indica claramente la limitación del mejoramiento genético convencional para superar el problema del empaste por esta vía. Tampoco se consiguió este objetivo por cruzamiento interespecífico ni por hibridación somática (54).

Los taninos, y más estrictamente los taninos condensados o proantocianidinas, son compuestos poliméricos derivados de fenilpropanoides. Su síntesis corresponde al metabolismo secundario de las plantas e involucra la utilización de fenilalanina como precursor. Los distintos metabolitos producidos secuencialmente por las enzimas Chalcona sintetasa (CHS), Chalcona isomerasa, Flavonona 3 hidroxilasa y Dihidroflavonol 4 reductasa son, a su vez, precursores de diferentes flavonoides con distintas funciones en las plantas. Uno de éstos, la leucoantocianidina, es también precursor de las antocianidinas (o antocianinas). Estos

flavonoides pueden presentar diferentes variantes químicas y son responsables del color de flores, de frutos y -eventualmente- de hojas.

Los avances producidos en la bioquímica y la biología molecular sobre el metabolismo secundario de las plantas, junto con el clonado de genes de rutas biosintéticas y los progresos realizados en las metodologías de transformación genética, han abierto nuevas posibilidades para manipular el contenido de taninos en tejidos específicos de plantas cultivadas.

El objetivo de esta línea de investigación en el IGEAF es la obtención, por ingeniería genética, de plantas de alfalfa que expresen constitutivamente genes claves del metabolismo de los flavonoides. La evaluación bioquímica de estas plantas permitirá disponer de información conducente a la obtención de plantas de alfalfa capaces de sintetizar taninos en hojas y, por lo tanto, no sean productoras de meteorismo. Además, el hecho de que los taninos precipiten las proteínas solubles, posibilitará un significativo aumento de la proporción de proteína que puede ser aprovechada directamente en el intestino de los rumiantes y que se conoce como «proteína pasante».

En este marco, se obtuvieron plantas transgénicas de alfalfa que expresan constitutivamente, por criterio de RT-PCR, el gen *CHS 2* de alfalfa o el gen *CHS A* de petunia (*Petunia hybrida*), tanto en orientaciones sentido como antisentido. Folíolos de algunas de estas plantas mostraron producción de antocianinas, fenómeno no observado en plantas control no transgénicas (3, 4). Esta observación demuestra que en algunas hojas de dichas plantas hubo expresión suficiente de todas las enzimas que intervienen en la síntesis de antocianinas, e indica que la expresión constitutiva del transgen *CHS* modificó, al menos en algunos casos, el flujo metabólico en gran parte de la ruta biosintética de los taninos. Además de esta síntesis de antocianinas que mostraron algunas plantas, la presencia del transgen de *CHS* -de ambos orígenes y en ambas orientaciones- puede haber inducido otras modificaciones en la vía de los polifenoles. La detección de estos últimos tendría implicancias no sólo en el campo del conocimiento de la regulación metabólica de la vía sino también como prueba de concepto para la generación de germoplasma de alfalfa de interés aplicado.

#### **4.- Expresión de antígenos virales**

El grupo del IGEAF también desarrolla, desde 1997, investigaciones conjuntas con el grupo de Biología Molecular del Instituto de Virología del CICVyA del INTA Castelar sobre la expresión de antígenos de virus animales en plantas transgénicas de alfalfa, con la finalidad de desarrollar vacunas de uso veterinario. Durante este período se trabajó en la expresión de antígenos del virus de la fiebre aftosa (VFA) (74, 28), del rotavirus bovino (75) y de la diarrea viral bovina (20). Para facilitar la evaluación de un gran número de individuos, a fin de seleccionar aquellos con mayores niveles de expresión, se desarrolló en este contexto un sistema de selección en el que la secuencia codificante para el antígeno a ser expresado es fusionada con aquella del gen marcador visualizable *gus A*, que codifica para la enzima  $\beta$ -Glucuronidasa ( $\beta$ -Gus), cuya presencia puede ser fácilmente evaluada en forma cuantitativa por fluorimetría. El producto de traducción es, entonces, una proteína de fusión que contiene el epítipo de interés y mantiene la actividad enzimática de  $\beta$ -Gus (28). De esta manera, la evaluación de una gran cantidad de individuos puede efectuarse por un simple método fluorométrico, donde las plantas que poseen los más altos niveles de actividad enzimática corresponden a los individuos con mayor expresión de la proteína de fusión y, por ende, del antígeno en cuestión. Así, se obtuvieron plantas de alfalfa que contienen la enzima  $\beta$ -Gus fusionada con el epítipo inmunodominante de la proteína estructural VP1 del VFA. Un grupo de ratones que recibió sólo dos dosis de una vacuna formulada con extractos de estas plantas presentaron una respuesta de anticuerpos muy significativa y una completa protección frente a la infección experimental con el VFA (28). No obstante, la utilización de plantas

transgénicas para la producción de vacunas a fin de ser utilizadas en bovinos no puede ser extrapolada directamente y requiere del incremento de la expresión del transgen codificante para el antígeno.

## Consideraciones finales

En líneas generales, la transformación genética aplicada a cultivos ha demostrado ser una poderosa herramienta para la adquisición de conocimiento sobre aspectos básicos de la genética, tales como los mecanismos regulatorios de la expresión génica y la relación entre estructura y función de numerosos genes de interés. Para el caso particular de la alfalfa, se ha registrado en los últimos años un importante avance, a punto tal de destacarla entre los cultivos forrajeros. Complementariamente, la información básica generada se convierte a su vez en un insumo crítico para el desarrollo de otros proyectos aplicados a la obtención de germoplasma de interés comercial, conducentes a enfrentar problemas de difícil resolución por vía del mejoramiento convencional. La aplicación de esta tecnología en el ámbito nacional también podría contrarrestar algunas limitaciones propias de nuestros sistemas productivos que, por cuestiones estratégicas o de escala, pueden no ser adecuadamente atendidas por empresas con intereses internacionales. Sin embargo, cabe mencionar que, resuelto el plano técnico, otros aspectos no menos gravitantes deben ser considerados en la planificación de cualquier proyecto de desarrollo que involucre esta tecnología. Entre ellos, la naturaleza apropiable de sus productos impone un escenario de limitaciones y oportunidades que debe ser abordado con un exhaustivo análisis de propiedad intelectual nacional y/o internacional, por parte de especialistas en la materia. Además, el análisis de factibilidad económica de este tipo de proyectos debe contener elementos que no son habituales en los análisis *ex ante* de desarrollo de cultivares por métodos convencionales. Así, no puede soslayarse el componente referido a los estudios de bioseguridad para el material transgénico obtenido, que las normativas regulatorias le imponen como requisito para acceder a los mercados. Estos análisis requieren de una inversión considerable que, en algunos casos, puede superar a la efectuada para la obtención del material.

Finalmente, un aspecto que merece ser atendido es el de la percepción pública. Si bien los productores agrícolas de nuestro país han adoptado aceleradamente las herramientas biotecnológicas que el mercado les ofreció y, en general, el consumidor no se mostró refractario a sus productos, la irrupción de toda nueva tecnología de alto impacto debe ser acompañada con una tarea de comunicación que permita una decisión informada por parte de usuarios y consumidores. En esta tarea no pueden quedar exceptuadas las instituciones del estado de manera de asegurar la divulgación de información objetiva.

## Bibliografía

1. ALARCÓN ZUÑIGA, B., P. SCOTT, K. MOORE, D. LUTH and E. C. BRUMMER. 2004. Quantitative trait locus mapping of winter hardiness metabolites in autotetraploid alfalfa (*Medicago sativa*). In: A. Hopkins, Z., Y. Wang, M. Sledge and R. Barker R. (eds) Molecular Breeding of Forage and Turf. Kluwer Academic Publishers, Australia. Developments in Plant Breeding, Volume 11: 97-104.
2. ARAGÓN J. y J. IMWINKELRIED. 1995. Plagas de la alfalfa. In: E. Hijano y A. Navarro (eds.) La alfalfa en la Argentina. Capítulo 5. INTA, Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, pp. 81-104.
3. ARDILA, F., J. CIANCIO, M. R. GARAY, E. PAGANO, R. D. RÍOS y P. M. FRANZONE. 2002. Manipulación de la biosíntesis de taninos condensados por ingeniería genética para la obtención de alfalfa no productora de meteorismo. V Simposio Nacional de Biotecnología Vegetal, REDBIO Argentina.
4. ARDILA, F., J. CIANCIO, M. R. GARAY, E. PAGANO, R. D. RÍOS y P. M. FRANZONE. 2003. Genetic engineering manipulation of condensed tannin biosynthesis for the obtention of safe-bloat alfalfa 3<sup>rd</sup> International Symposium of Molecular Breeding of Forage and Turf. Dallas, Texas, USA.



5. BAGGA, S., D. SUTTON, J. D. KEMO and CH. SENGUPTA-GOPALAN. 1992. Constitutive expression of the  $\alpha$ -phaseolin gene in different tissues of transgenic alfalfa does not ensure phaseolin accumulation in non-seed tissue. *Plant Molecular Biology* 19: 951-958.
6. BARCACCI, G. 1994. Development, comparability and potential applications of RAPD markers in the genus *Medicago*. *J. Genet. and Breed.* 48:161-168.
7. BIANCHI, S., P. FLAMENT et Y. DATTÉE. 1988. Embryogenèse somatique et organogenèse in vitro chez la luzerne: évaluation des potentialités de divers génotypes. *Agronomie* 8: 121-126.
8. BINGHAM, E., L. HURLEY, D. KAATZ and J. SAUNDERS. 1975. Breeding alfalfa which regenerates from callus tissue in culture. *Crop Sci.* 15: 719-720.
9. BINGHAM, E., T. McCOY and K. WALKER. 1988. Alfalfa tissue culture. *In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill, Jr. (eds) Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA. Agronomy Series 29, pp.903-929.*
10. BONAFEDE, M. D. 2000. Caracterización molecular de poblaciones de alfalfa. Tesina de Graduación para la Licenciatura en Genética, Universidad Nacional de Misiones.
11. BONAFEDE, M. D., R. D. RÍOS., C. G. ROBREDO y D. BASIGALUP. 1999. Utilización de marcadores RAPDs en alfalfa (*Medicago sativa* L.). IV Simposio Nacional de Biotecnología Vegetal, REDBIO Argentina '99. Buenos Aires, Argentina, p. 60.
12. BROWN, D. and A. ATANASSOV. 1985. Role of genetic background in somatic embryogenesis in *Medicago*. *Plant Cell Tissue & Organ Culture* 4: 111-122.
13. BRUMMER, E. C., J. H. BOUTON and G. KOCHERT. 1993. Development of an RFLP map in diploid alfalfa. *Theoretical and Applied Genetics* 86: 329-332.
14. BRUMMER, E. C., J. H. BOUTON and G. KOCHERT. 1995. Analysis of annual *Medicago* species using RAPD markers. *Genome* 38:362-367.
15. BURKART, A. 1952. Las Leguminosas Argentinas Silvestres y Cultivadas. Editorial Acme, Bs. As., Argentina, pp. 330-339.
16. BURKART, A. 1978. Leguminosas. *In: M. Dimitri (ed) Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Editorial Acme, Bs. As., Argentina, pp. 519-520.*
17. CANNON, R. 1996. *Bacillus thuringiensis* use in agriculture: a molecular perspective. *Biol. Rev.* 71: 561-636.
18. CHABAUD, M., J. E. PASSIATORE, F. CANNON and V. BUCHANAN-WOLLASTON. 1988. Parameters affecting the frequency of Kanamycin resistant alfalfa obtained by *Agrobacterium tumefaciens* mediated transformation. *Plant Cell Reports* 7: 512-516.
19. CHEN, T., J. MAROWITCH and B. THOMPSON. 1987. Genotypic effects on somatic embryogenesis and plant regeneration from callus cultures of alfalfa. *Plant Cell Tissue Organ Culture.* 8: 73-81.
20. CHIAVENNA, S., M. J. DUS SANTOS, M. C. GÓMEZ, M. MARZOCCA, R. SCHAUER, P. FRANZONE, R. RÍOS, F. ARDILA y A. WIGDOROVITZ. 2003. Desarrollo de una nueva generación de vacunas contra el virus de la diarrea viral bovina utilizando como sistema de expresión plantas de alfalfa transgénicas. XXIII Reunión Científica Anual de la Sociedad Argentina de Virología, Tandil, Argentina.
21. CIANCIO, J., R. D. RÍOS, A. FERRI, C. GÓMEZ, F. ARDILA, y P. FRANZONE. 2001. Transformación genética de alfalfa por bombardeo con microproyectiles. IV Encuentro Latinoamericano de Biotecnología Vegetal REDBIO 2001. Goiânia, Goiás, Brasil.
22. CREA, F., M. BELLUCCI, F. DAMIANI and S. ARCIONI. 1995. Genetic control of somatic embryogenesis in alfalfa (*Medicago sativa* L.) cv. Adriana. *Euphytica* 81:151-155.
23. CROCHEMORE, M. L., C. HUYGHE, M. C. KERLAN, F. DURAND and B. JULIER. 1996. Partitioning and distribution of RAPD variation in a set of populations of the *Medicago sativa* complex. *Agronomie* 16: 421-432.
24. DÍAZ, M. L., D. C. ZAPPACOSTA, P. M. FRANZONE y R. D. RÍOS. 2004. Transformación Genética. *In: V. Echenique, C. Rubinstein y L. Mroginski (eds) Biotecnología y Mejoramiento Vegetal. Ediciones INTA, pp 109-123.*
25. D'HALLUIN, K., J. BOTTERMASN and W. DE GREEF. 1990. Engineering of Herbicide-resistant Alfalfa and Evaluation under Field Conditions. *Crop Sci.* 30: 866-871.
26. DIWAN, N., A. A. BHAGWAT, G. B. BAUCHAN and B. CREGAN. 1997. Simple sequence repeat DNA markers in alfalfa and perennial and annual *Medicago* species. *Genome* 40: 887-895.
27. DU, S., L. ERICKSON and S. BOWLEY. 1994. Effect of plant genotype on the transformation of cultivated alfalfa (*Medicago sativa* L.) by *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Cell Reports* 13: 330-334.
28. DUS SANTOS, M. J., A. WIGDOROVITZ, K. TRONO, R. RÍOS, P. FRANZONE, F. GIL, J. MORENO, A. SADIR, C. CARRILLO, J. ESCRIBANO y M. BORCA. 2002. A novel methodology to develop a foot and mouth disease virus peptide-based vaccine in transgenic plants. *Vaccine* 20: 141-1147.

29. ECHENIQUE, V., G. SCHRAUF y J. P. SELVA. 2004. Genómica. In: V. Echenique, C. Rubinstein y L. Mroginski (eds) Biotecnología y Mejoramiento Vegetal. Ediciones INTA, pp 213-228.
30. ESTRUCH, J., N. CAROZZI, N. DESAI, N. DUCK, G. WARREN and M. KOZIEL. 1997. Transgenic plants: An emerging approach to pest control. *Nature Biotechnology* 15: 137-141.
31. FERREIRA, M. y D. GRATTAPAGLIA. 1998. In: EMBRAPA (ed) Introducción al uso de marcadores moleculares en el análisis genético. Brasilia, Brasil, 220 pp.
32. FINNER, J. J., P. VAIN, M. W. JONES and M. D. McMULLEN. 1992. Development of the particle inflow gun for DNA delivery to plant cells. *Plant Cell Reports* 11: 323-328.
33. GAO, A., S. HAIKIMI, C. MITTANCH, Y. WU, B. WOERNER, D. STARK, D. SHAH, J. LIANG and C. ROMMENS. 2000. Fungal pathogen protection in potato by expression of a plant defensin peptide. *Nature Biotechnology* 18: 1307-1310.
34. GEISER, M., S. SCHWEITZER and C. GRIMM. 1986. The hypervariable region in the genes coding for entomopathogenic crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*: nucleotide sequence of the kurhd1 gene of subsp. *kurstaki* HD1. *Gene* 48 (1): 109-118.
35. GHERARDI, M., B. MANGIN, B. GOFFINET, D. BONNET and T. HUGUET. 1998. A method to measure genetic distance between allogamous populations of alfalfa (*Medicago sativa*) using RAPD molecular markers. *Theoretical and Applied Genetics* 96: 406-412.
36. GOPLEN, B., R. HOWARTH, S. SARKAR and K. LESINS. 1980. A search for condensed tannins in annual and perennial species of *Medicago*, *Trigonella* and *Onobrychis*. *Crop Sci* 20: 801-804.
37. HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, M. M. and B. R. CHRISTIE. 1989. Inheritance of somatic embryogenesis in alfalfa (*Medicago sativa* L.) *Genome*. 32: 318-321.
38. HIJANO, E. y J. PÉREZ FERNÁNDEZ. 1995. Enfermedades de la Alfalfa. In: E. Hijano y A. Navarro (eds) La alfalfa en la Argentina. Capítulo 7. INTA, Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, pp. 125-146.
39. HILL, K., N. JARVIS-EAGAN, E. HALK, K. KRAHN, L. LIAO, R. MATHEWSON, D. MERLO, S. NELSON, K. RASHKA and L. LOESCH-FRIES. 1991. The development of virus-resistant alfalfa, *Medicago sativa* L. *Biotechnology* 9: 373-377.
40. HORSCH, R., R. FRALEY, S. ROGERS, P. SANDERS, A. LLOYD and N. HOFFMAN. 1984. Inheritance of functional foreign genes in plants. *Science* 223: 496-498.
41. JAMES, C. 2004: Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops. ISAAA Briefs N° 31. ISAAA, Ithaca, NY, USA..
42. JONES, W., L. ANDERSON and M. ROSS. 1973. Bloat in cattle. *N. Z. J. of Agricultural Research* 16: 441-446.
43. KENDALL, W. 1966. Factors affecting foams with forage legumes. *Crop Sci*. 6: 487-489.
44. KIELLY, G. A. and S. T. BOWLEY. 1992. Genetic control of somatic embryogenesis in alfalfa. *Genome* 35: 474-477.
45. KIDWELL, K. K., D. F. AUSTIN and T. C. OSBORN. 1994. RFLP evaluation of nine *Medicago* accessions representing the original germplasm sources of North American alfalfa cultivars. *Crop Sci*. 34: 230-236.
46. LESINS, K. and C. GILLIES. 1972. Taxonomy and Cytogenetics of *Medicago*. In: C. Hanson (ed) Alfalfa Science and Technology. ASA, Madison, WI, USA. Agronomy Series 15, pp. 53-86.
47. LEUBNER-MERTZGER, G. and F. MEINS, Jr. 1999. Functions and regulation of planta 1,3-glucanases (PR-2). In: S. Datta S. and S. Muthukrishnan (eds) Pathogenesis-related proteins in plants. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp 49-76.
48. MAÍZ, E., R. RÍOS, C. GÓMEZ y P. M. FRANZONE. 1995. Alfalfa (*Medicago sativa*) somatic embryos are suitable targets for particle bombardment genetic transformation. REDBIO '95, Segundo Encuentro Latinoamericano de Biotecnología Vegetal, Puerto Iguazú, Argentina, p. 77.
49. MARTÍN, A. 2002. Los marcadores genéticos en la Mejora Vegetal. In: F. Nuez, J. Carrillo y R. Lozano (eds) Genómica y Mejora Vegetal. Editores Mundi-Prensa Libros, Madrid, España, pp. 39-63.
50. MAY, G. 2004. From models to crops: Integrated *Medicago* genomics for alfalfa improvement. In: A. Hopkins, Z. Y. Wang, M. Sledge M. and R. Barker (eds) Molecular Breeding of Forage and Turf. Kluwer Academic Publishers, Australia. Developments in Plant Breeding Volume 11: 325-332.
51. Mc KERSIE, B., Y. CHEN, M. de BEUS and S. BOWLEY. 1993. Superoxide Dismutase Enhances Tolerance of Freezing Stress in Transgenic Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant Physiol*. 103:1155-1163.
52. MITTEN, D., S. SATO and T. SKIKUT. 1984. *In vitro* regenerative potential of alfalfa germplasm sources. *Crop Sci*. 24: 943-945.
53. MOLTRASIO, R., C. G. ROBREDO, M. C. GÓMEZ, A. H. DÍAZ PALEO, D. G. DÍAZ, R. D. DÍAZ y P. M. FRANZONE. 2004. Alfalfa (*Medicago sativa* L) somatic embryogenesis: genetic control and introduction of favorable alleles into elite Argentinean germplasm. *Plant Cell Tissue & Organ Culture* 77 (2): 119-124.

54. MORRIS, P. and M. ROBBINS. 1997. Manipulating condensed tannins in forage legumes. *In*: B. Mc Kersie and D. Brown (eds) Biotechnology and the Improvement of Forage Legumes. CAB International, pp 147-173.
55. OSBORN, T., D. BROUWER and T. McCOY. 1997. Molecular marker analysis of alfalfa. *In*: B. Mc Kersie and D. Brown (eds) Biotechnology and the Improvement of Forage Legumes. CAB International, pp. 91-109.
56. PEREIRA, L. and L. ERICKSON. 1995. Stable transformation of alfalfa (*Medicago sativa* L.) by particle bombardment. *Plant Cell Reports* 14: 290-293.
57. PETERS, E. y R. ROSSANIGO. 1986. Las malezas en el cultivo de alfalfa. *In*: C. Bariggi, C. D. Itria, V. L. Marble y J. M. Brun (eds) Investigación, Tecnología y Producción de alfalfa. Colección Científica INTA, Tomo XXII, Cap. 6. INTA, Buenos Aires, Argentina, pp. 161-178.
58. REISCH, B. and E. T. BINGHAM. 1980. The genetic control of bud formation from callus cultures of diploid alfalfa. *Plant Sci. Lett.* 20: 71-77.
59. RIDAY, H. and E. C. BRUMMER. 2004. Dissection of heterosis in alfalfa hybrids. *In*: A. Hopkins, Z. Y. Wang, M. Sledge M. and R. Barker (eds) Molecular Breeding of Forage and Turf. Kluwer Academic Publishers, Australia. Developments in Plant Breeding Volume 11: 315-324.
60. SAMAC, D. A. and S. J. TEMPLE. 2004. Development and Utilization of Transformation in *Medicago* Species. *In*: G. H. Liang and D. Z. Skimmer (eds) Genetically Modified Crops - Their development, uses, and risks. Food Products Press, pp. 165-202.
61. SANDGUEN, N., E. SORENSEN and G. LIANG. 1982. A perennial x annual *Medicago* cross. *Can. J. Genet. Cytol.* 24: 361-365.
62. SAUNDERS, J. and E. BINGHAM. 1972. Production of alfalfa plants from callus tissue. *Crop Sci.* 12: 804-808.
63. SLEDGE, M., I. RAY and R. MIAN. 2004. EST-SSRs for genetic mapping in alfalfa. *In*: A. Hopkins, Z. Y. Wang, M. Sledge M. and R. Barker (eds) Molecular Breeding of Forage and Turf. Kluwer Academic Publishers, Australia. Developments in Plant Breeding Volume 11: 239-243.
64. SHAHIN, E. A., A. SPIELMANN, K. SUKHAPINDA, R. SIMPSON and Y. MAYER. 1986. Transformation of Cultivated Alfalfa Using Disarmed *Agrobacterium tumefaciens*. *Crop Sci.* 26: 1235-1239.
65. SHIEH, T. R. 1988. Biological Insecticide and Biotechnology. *American Chemical Society.* 17: 207-216.
66. SOTO, G. 2004. Obtención de plantas transgénicas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) resistentes a glufosinato de amonio mediante *Agrobacterium tumefaciens*.. Seminario de Licenciatura. Facultad de Ciencia Exactas y Naturales, UBA. Buenos Aires, Argentina.
67. SOTO, G., E. M. PAGANO, C. GÓMEZ, F. ARDILA, P. M. FRANZONE y R. D. RÍOS. 2004. Obtención de plantas transgénicas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) resistentes a Glufosinato de Amonio mediante *Agrobacterium tumefaciens*. 33° Congreso Argentino de Genética. Malargüe, Mendoza, Argentina, p. 109.
68. SPANGENBERG, G., R. KALLA, A. LIDGETT, T. SAWBRIDGE, B. ONG and U. JOHN. 2001. Breeding forage plants in the genome era. *In*: G. Spangenberg (ed) Molecular Breeding of Forage Crops. Kluwer Academic Publishers, Australia. Developments in Plant Breeding Volume 10: 1-39.
69. STUIVER, M. and J. CUSTERS. 2001. Engineering disease resistance in plants. *Nature* 411: 865-868.
70. THOMAS, J., C. WASMANN, C. ECTH, R. DUNN, H. BOHNERT and T. McCOY. 1994. Introduction and expression of an insect proteinase inhibitor in alfalfa (*Medicago sativa* L). *Plant Cell Reports* 14: 31-36.
71. VAN DEYNZE, A., D. H. PUTNAM, S. ORLOFF, T. LANINI, M. CANEVARI, R. VARGAS, K. HEMBREE, S. MELLER and L. TEUBER. 2004. Roundup Ready Alfalfa: an emerging technology. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Pub. 8153 (<http://anrcatalog.ucdavis.edu>).
72. VASIL, I. 2003. The science and politics of plant biotechnology 2002 and beyond. *In*: I. Vasil (ed) Plant Biotechnology 2002 and Beyond. Kluwer Academic Publishers, Australia, pp. 1-9.
73. WAN, Y., E. L. SORENSEN and G. H. LIANG. 198. Genetic control of *in vitro* regeneration in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Euphytica* 39: 3-9.
74. WIGDOROVITZ, A., C. CARRILLO, M. DUS SANTOS, K. TRONO, A. PERALTA, M. GÓMEZ, R. RÍOS, P. FRANZONE, A. SADIR, J. MARTÍNEZ ESCRIBANO and M. BORCA. 1999. Induction of a protective antibody response to foot and mouth disease virus in mice following oral or parenteral immunization with alfalfa transgenic plants expressing the viral structural protein VP1. *Virology* 255: 347-353.
75. WIGDOROVITZ, A., M. MOZGOVOJ, M. J. DUS SANTOS, V. PARREÑO, M. C. GÓMEZ, D. M. PÉREZ-FILGUEIRA, K. TRONO, R. D. RÍOS, P. M. FRANZONE, F. FERNÁNDEZ, C. CARILLO, I. A. BABIUK, J. MARTÍNEZ ESCRIBANO and M. V. BORCA. 2004. Protective lactogenic immunity conferred by an edible peptide vaccine to bovine rotavirus produced in transgenic plants. *J. Gen. Virol.* 85: 1825-1832.



## Evaluación de cultivares y panorama varietal

*Ing. Agr. (MSc) María del Carmen Spada*  
EEA Manfredi-INTA.  
Coordinadora de la Red Nacional  
de Evaluación de Cultivares de Alfalfa-INTA.

*Este capítulo se pudo escribir gracias a la información producida por los responsables de los ensayos y el personal de campo que participa en la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA. Un especial reconocimiento a los profesionales responsables en cada localidad: Néstor Romero, Luis Romero, Miguel Amigone, Omar Peralta, Juan Martín García, Elena Di Nucci de Bedendo, Mario Costa, Mario Funes, Mónica Cornacchione, Dante Pueyo, Jorge Amorena, Oscar Bertín, Oscar Bruno y Roberto Rossanigo.*





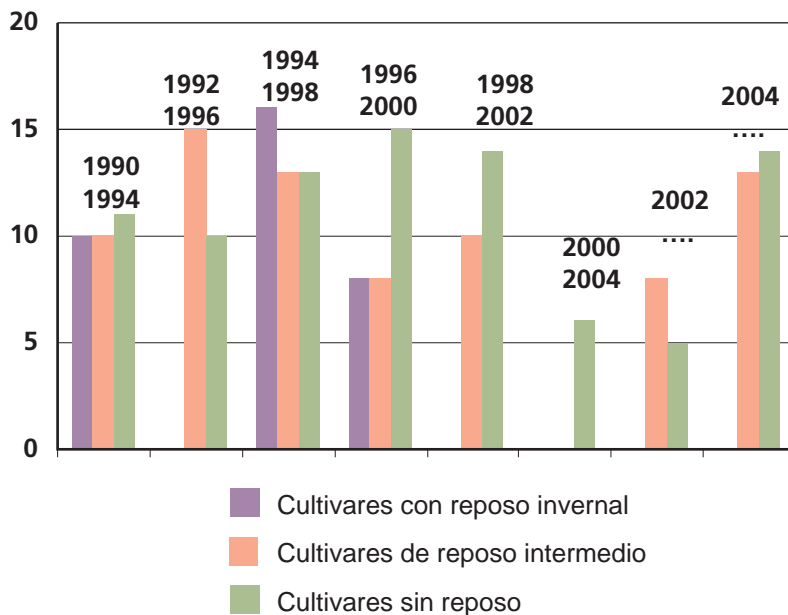
## Introducción

Las primeras alfalfas utilizadas en el país fueron poblaciones introducidas y posteriormente adaptadas a distintos ambientes, lo que dio origen a tres ecotipos regionales: pampeano, cordobés e invernizo. Más tarde, en la década del '40 y sobre la base de estos ecotipos, se inició el mejoramiento genético en el país con la generación de los primeros cultivares nacionales: Nemagone, San Martín FAV, Fortín Pergamino y Bellocq MAACIC.

Con los años, y como consecuencia de la aparición de los pulgones verde y azul de la alfalfa, se produjo la introducción de variedades resistentes y la intensificación de los programas nacionales de mejoramiento genético. Como resultado de estos trabajos surgieron cultivares obtenidos por el INTA y por algunas compañías privadas. Sin embargo, la disponibilidad de estos materiales en el mercado no siempre fue la adecuada. En ese contexto, y ante la mayor demanda de variedades mejoradas por parte de los productores pecuarios, el mercado nacional experimentó una creciente importación de cultivares extranjeros, especialmente de Estados Unidos (29).

Durante la década del '90, el Registro Nacional de Cultivares de la República Argentina aprobó la inscripción 190 cultivares de alfalfa, de los cuales solamente el 38% provenían del sector público. Esta creciente aparición de nuevas variedades marcó un notable incremento en el número de materiales protegidos, que comenzaron a comercializarse con carácter de exclusividad o por medio de licencias (14). Sin embargo, desde aproximadamente 1998 hasta el presente, se observa una significativa declinación en la inscripción de nuevas variedades respecto del período anterior, en especial en el grupo de cultivares con reposo (5, 32, 33, 34, 35, 36).

En la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa de INTA se evaluaron, desde 1990 hasta la fecha, 178 variedades. La máxima cantidad de materiales probados se registró en el período 1994-1996 (Figura 1), e incluyó principalmente cultivares de reposo intermedio y sin reposo. Una situación similar se apreció en la red de evaluación de la Cámara de Semilleras de la Bolsa de Cereales, aunque -a diferencia de la red de INTA- con mayor cantidad de materiales con reposo invernal (5).



**FIGURA 1** - Evolución del número de cultivares incluidos en la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa de INTA durante el período 1990-2004. Los cultivares están discriminados por grupo de reposo invernal.

Frente a una oferta tan variada, es muy importante conocer la adaptación de cada cultivar a cada zona de cultivo. En ese sentido, el principal objetivo de las redes de evaluación, sean públicas o privadas, es estimar la producción potencial de los materiales evaluados. No obstante, la elección de los cultivares a sembrar por parte del productor debe tener en cuenta no sólo la producción potencial de forraje sino también el grado de reposo, la persistencia y la resistencia a plagas y enfermedades.

Todas estas variables deben considerarse en conjunto, dado que, en muchas ocasiones, la no detección de diferencias en

producción potencial de forraje no es sinónimo de similitud entre variedades (10). Atendiendo a que la expresión de todas estas características es dependiente de las condiciones ambientales locales, siempre es recomendable basar la elección de los cultivares en los datos de evaluación que más se aproximen a la situación en que se quiere implantar el cultivo.

En este capítulo se presentará la información obtenida en los ensayos de la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa de INTA durante el período 1990-2002. En estos ensayos, bajo condiciones de corte, se evalúan cultivares comerciales tanto de origen nacional como extranjero. Los ensayos están organizados en series, que se inician cada 2 años y que agrupan a los cultivares en tres categorías de acuerdo con su grado de reposo invernal (GRI): con reposo (GRI 3-5), con reposo intermedio (GRI 6-7) y sin reposo (GRI 8-10) (32, 33, 34, 35, 36).

En la actualidad, las localidades que forman parte de la red son: 1) **Región Pampeana:** a) *zona semiárida:* Anguil (La Pampa), Villa Mercedes (San Luis) y Manfredi (Córdoba); b) *zona subhúmeda:* General Villegas (Buenos Aires) y Marcos Juárez (Córdoba); y c) *zona húmeda:* Rafaela (Santa Fe), Concepción del Uruguay y Paraná (Entre Ríos); 2) **Áreas de Riego:** Santiago del Estero, Hilario Ascasubi (Buenos Aires) y Catamarca, y 3) **Región Extrapampeana:** El Colorado (Formosa) y Salta.

## Grados de reposo invernal

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 (21). 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. La teoría fisiológica más aceptada indica que, 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.

La clasificación original del reposo invernal en categorías fue propuesta por Marble (22) en California, EE.UU., e incluía sólo 6 grados. En la actualidad, la determinación del grado de reposo invernal (GRI) en ese país reconoce 11 categorías, cuya definición se basa en la altura de rebrote medido a los 25-30 días del último corte de otoño, de acuerdo con una escala que contempla incrementos de 5 cm entre los grados y que utiliza variedades testigo debidamente definidas para cada grado (40). En la Argentina, el legajo para la inscripción de variedades de alfalfa aprobado por el INASE reconoce también 11 categorías de GRI y define los testigos a utilizar para la realización de las determinaciones, conforme se muestra en el Cuadro 1.

**CUADRO 1** – Grupos y grados de reposo invernal (GRI) y cultivares testigo definidos por el INASE(\*) para la clasificación del reposo invernal de las variedades de alfalfa.

(\*) Instituto Nacional de Semillas

Grupos de reposo	GRI	Cultivares testigo
<b>Con Reposo</b>	1	Norserman -Spredor 2
	2	Vernal -Alfagraz
	3	Painé INTA – Dekalb 120
	4	WL 320 – Cimarrón
	5	P 205 - Cimarrón VR
<b>Reposo Intermedio</b>	6	Victoria SP INTA – Meteor
	7	P 105 – Dekalb 170
<b>Sin Reposo</b>	8	WL 516 – Dekalb 187
	9	Cuf 101– 5929
<b>Extremadamente Sin Reposo</b>	10	Hejazi
	11	Ne NAF 3

Los cultivares con reposo (GRI 1-4) 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 subordinadas al fotoperíodo y continúan su crecimiento mientras la temperatura se mantenga 5°C (27). En este tipo de cultivares, de acuerdo con Brummer y col. (3), al no activarse los procesos de aclimatación antes mencionados, las plantas continúan creciendo en otoño y por lo tanto, al no acumular suficientes sustancias de reserva en la raíz y en la corona raíz, se tornan susceptibles a las bajas temperaturas invernales. En igual sentido, Marble (22) -al describir su clasificación de reposo invernal- considera que las plantas de GRI 1-3 no son afectadas por heladas, mientras que los cultivares sin reposo son dañados por temperaturas inferiores a -1°C; en consecuencia, recomienda la utilización de estos últimos sólo en áreas templadas. Por su parte, el comportamiento de los cultivares de reposo intermedio se ubica obviamente entre ambos extremos.

Para las condiciones de Minnesota, en el norte de los Estados Unidos, Sheaffer y col. (31) consideran que el GRI se estima mejor sobre la proporción de plantas de una variedad que sobreviven al invierno que sobre cualquier otra característica relacionada con el reposo invernal. Para esos ambientes, en los que las extremadamente bajas temperaturas invernales provocan la muerte de los individuos sin reposo, el GRI se correlaciona, de manera significativa, con el porcentaje de supervivencia.

Teuber y col. (39) establecieron que los cultivares de diferente GRI responden de forma distinta al fotoperíodo y a la temperatura, observando que los de GRI 1-3 son más sensibles a cambios de longitud del día y temperatura que los de GRI 7-9. De acuerdo con Cunningham y col. (12), algo muy similar ocurre con los cultivares seleccionados en áreas templadas, que no responden a los cambios de longitud del día como lo hacen los seleccionados en áreas más extremas o de mayores latitudes. Teuber y col. (39), basados en determinaciones realizadas en Davis, EE.UU., indicaron que la altura de rebrote para un mismo material puede variar entre momentos de corte o localidades en donde se realice la medición, y que -por lo tanto- no constituye un indicador totalmente confiable para la estimación del GRI. Como ejemplo de ello observaron que la variabilidad en la altura de rebrote de las variedades Cuf 101 (GRI 9) y Lahontan (GRI 6) fue mayor que la detectada en Mesilla (GRI 7) y Ranger (GRI 3).

La interacción genotipo\*ambiente descrita en el párrafo anterior explicaría el diferente comportamiento que algunos cultivares seleccionados en los EE. UU. exhiben en la Argentina. En ese sentido, J. Reich (*Cal West, comunicación personal*) sugiere que si bien el GRI de las variedades desarrolladas en EE.UU. usualmente se mantiene en las condiciones de la Región Pampeana, en algunas variedades pueden registrarse cambios, especialmente en los grupos de reposo superiores e inferiores. Por ejemplo, algunos cultivares de GRI 9 y GRI 5 de origen estadounidense pueden comportarse en la Argentina como de GRI 8 y GRI 4, respectivamente. También sostiene que, por el contrario, algunos materiales seleccionados en la Argentina pueden exhibir cambios de comportamiento cuando son evaluados posteriormente en EE.UU, citando como ejemplos a DK 194 y SPS 9000, que en la Región Pampeana se caracterizaron como de GRI algo mayor a 9 y en EE.UU. como algo mayor a 8.

Otros aspectos que contribuyen a la caracterización productiva de las plantas -como el vigor, la tasa de crecimiento, la producción de materia seca, la persistencia y la reacción a plagas y enfermedades- también se relacionan con el GRI. En general, los cultivares con reposo exhiben en el otoño tallos cortos y postrados, y presentan durante el verano bajas tasas de elongación de rebrotes. Por el contrario, los cultivares sin reposo continúan creciendo durante el otoño y presentan tallos más erectos, con tasas de crecimiento mayores, durante la primavera y el verano (31).

Independientemente de las diferencias de tasa de crecimiento entre cultivares de distinto GRI, también existe para este carácter una gran variabilidad dentro de cada grado o grupo

de reposo. Busbice and Wilsie (2) sugirieron que existiría una relación lineal entre GRI y tasa de desarrollo, lo que determinaría que los cultivares con reposo madurasen más lentamente que los sin reposo. No obstante, Hall y col. (16) no encontraron diferencias en estados de madurez (ver Capítulo 2) 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 (*C. Guzmán y M. del C. Spada, datos no publicados*); complementariamente, en ese mismo estudio se verificó que para ambos grados de reposo el desarrollo fenológico fue más rápido bajo condiciones de deficiencia hídrica (estrés) que bajo condiciones favorables de humedad.

Otro aspecto que podría relacionarse con el reposo invernal es la calidad forrajera. Al respecto, Knipe y col. (20) sugirieron que las diferentes características morfológicas entre plantas de distinto GRI podría afectar la calidad de forraje. En concordancia con esto, Brummer y col. (4) indicaron que el tipo de tallo de los cultivares sin reposo, más erecto y fibroso que el de los de reposo intermedio, podría afectar negativamente la digestibilidad de la pastura. Con este concepto coinciden Putnam y col. (28), ya que consideran que los cultivares sin reposo (GRI 8-9) registran mayor contenido de fibra y menor de proteína. En consecuencia, concluyen que el grado de reposo es un buen estimador de la calidad del forraje, explicando el 80% de la variación entre cultivares respecto de los contenidos de PB, FDN y FDA. No obstante, la regla no se aplica necesariamente en todos los casos y debe ser manejada con precaución cuando se trata de cultivares de otros grados de reposo invernal.

La expresión del GRI está gobernada por genes (12, 13), que se activarían cuando son expuestos a condiciones de bajas temperaturas y menor fotoperíodo (3). Si bien las bases fisiológicas de la dormancia no están todavía totalmente dilucidadas, se especula que estos genes, al expresarse, desatarían una verdadera cascada de procesos metabólicos interrelacionados y complejos.

Desde el punto de vista fisiológico, la tolerancia a las heladas estaría relacionada con la composición de los carbohidratos de reserva. Respecto de los cultivares sin reposo, los cultivares adaptados a las bajas temperaturas poseen en general mayores concentraciones de oligosacáridos en la corona y mayores niveles otoñales de sacarosa y rafinosa, aun cuando también existen diferencias entre cultivares dentro del mismo (15). La tasa de acumulación de carbohidratos a lo largo del ciclo de crecimiento es variable, registrando los máximos valores en el otoño, particularmente para los cultivares con reposo (11, 15). Haagenson y col. (15) concluyeron en que la concentración de oligosacáridos en el otoño se correlaciona muy significativamente con el inicio del rebrote en la próxima primavera y que la concentración de azúcares otorga mayor resistencia a las heladas que la de almidón.

Además de los carbohidratos, la concentración de sustancias nitrogenadas cumple un rol importante en la resistencia a las bajas temperaturas. Durante el otoño, los cultivares sin reposo muestran pocos cambios en su concentración de proteínas y aminoácidos; por el contrario, los cultivares con reposo presentan en este mismo período mayores concentraciones de compuestos nitrogenados (13). Por su parte, Haagenson y col. (15) encontraron una correlación positiva entre la concentración de aminoácidos solubles y proteínas en la raíz y la resistencia a heladas, lo que significa que los cultivares de menor GRI poseen mayores concentraciones de compuestos nitrogenados en sus órganos de reserva.

## Producción de forraje

De acuerdo con Hijano (19), el rendimiento de materia seca (MS) de alfalfa en la Argentina se triplicó durante el período 1970-93 como consecuencia del mejoramiento genético.



Mientras que a principios de los '70 el promedio de producción de forraje en la Región Pampeana se ubicaba alrededor de las 5 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, a principios de los '90 esos valores llegaban a las 16 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Volenc y col. (41), realizando un análisis de la evolución, durante las últimas décadas, de los rendimientos de forraje en el Medio Oeste de EE.UU., concluyeron que la mejora productiva de los cultivares seleccionados en los '80 era mayor que la registrada en los cultivares liberados en los '90. Además, sugirieron que los incrementos de producción de las últimas dos décadas eran en realidad el efecto indirecto de haber seleccionado por menor GRI, lo que aparejaba un significativo incremento de MS hacia el final del ciclo del crecimiento (otoño).

En la Argentina, la evolución de la productividad de los cultivares de alfalfa durante la última década se ha visto fuertemente afectada por las condiciones ambientales de cada zona agroecológica. Esta significativa interacción genotipo\*ambiente condicionó la expresión del avance genético logrado para los cultivares de reposo intermedio y sin reposo en las distintas localidades. En ese contexto, las producciones de forraje de Anguil (zona semiárida) y de General Villegas (zona subhúmeda) registraron durante el período 1990-2000 incrementos de aproximadamente 5 tn MS ha<sup>-1</sup> entre series de ensayos (conducidos por cuatro años pero implantados cada dos), tanto para los cultivares sin reposo como para los de reposo intermedio. Por el contrario, para ese mismo período, las localidades de Marcos Juárez (zona subhúmeda) y Rafaela (zona húmeda) no sólo no registraron aumentos de producción sino que, en algunos casos, hasta se observaron disminuciones (33, 34, 35 36). Evidentemente, esta marcada variabilidad de respuesta está íntimamente ligada a las condiciones ambientales que se produjeron en cada caso. Los cultivares sin reposo fueron los de mayor producción acumulada en Anguil y Rafaela, mientras que en General Villegas lo fueron los de GRI 3-5. En Marcos Juárez no se detectaron diferencias de rendimiento entre los grupos intermedio y sin reposo. Toda esta información se resume en el Cuadro 2.

Este comportamiento de las variedades registrado en la Argentina contrasta marcadamente con lo observado por Poole y col. (27) en California, EE.UU., quienes estimaron un incremento de producción de 0,561 tn MS acre<sup>-1</sup> (r<sup>2</sup>=0.79) por cada grado de aumento en el reposo invernal. No obstante, Putnam y col. (28) consideran que por sí solo el grado de reposo no explica totalmente las diferencias de rendimiento entre variedades. Por otro lado, la producción conjunta de los cultivares de reposo intermedio (GRI 6-7) en California supera la media de rendimiento global de las variedades sin reposo (GRI 8-9).

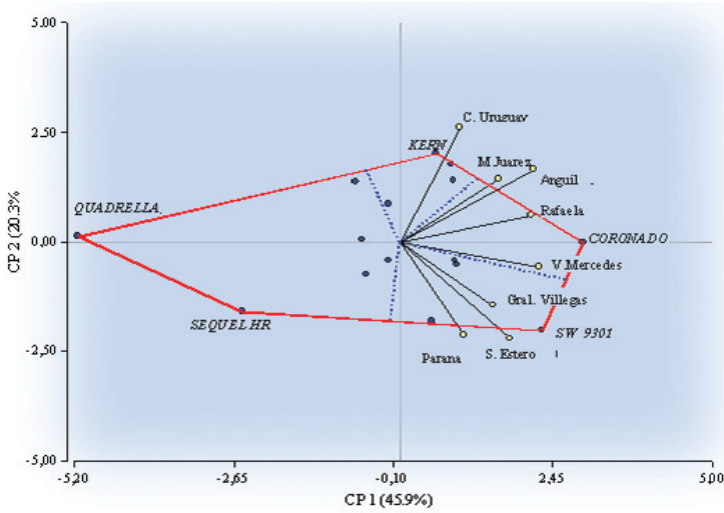
Una forma muy conveniente de visualizar la interacción genotipo\*ambiente es hacerlo a través un análisis de las componentes principales (CP), que incluya las variables producción acumulada a lo largo del período de evaluación de todas y cada una de las variedades en todas y cada una de las localidades. Luego, sobre la base de las CP que expliquen la mayor parte de la variabilidad, se puede confeccionar el tipo de gráfico denominado *GGE biplot*,

**CUADRO 2** - Relación entre grado de reposo invernal (GRI) y producción acumulada (4 temporadas) de materia seca (tn MS ha<sup>-1</sup>) de alfalfa en cuatro localidades de la Región Pampeana. Adaptado de Spada, (32, 33, 34, 35 36).

Localidad	Producción promedio acumulada (tn MS ha)			Incremento de la producción por aumento en GR
	Grado de Reposo Invernal (GRI)			
	3 - 4	5 - 7	8 - 9	
Anguil	21,85	26,78	28,32	1,43*
Marcos Juarez		80,05	79,02	0,023
Rafaela		53,77	62,52	4,05 *
Gral Villegas	55,88	48,84	40,52	- 3,16

que permite observar rápidamente el comportamiento de las variedades a lo largo de la red de evaluación. En general, la CP<sub>1</sub> se relaciona fundamentalmente con el rendimiento de los cultivares, de modo que trazando un eje en el valor 0 de este componente se puede discriminar entre los cultivares de mayor (valores positivos) y menor (valores negativos) ren-

dimiento, especialmente en las localidades que más cerca están en la representación. Además, este tipo de gráfico permite visualizar las variedades que se ubican en los vértices del polígono que conforma la distribución de los cultivares y también la distribución de las localidades en la figura. Sobre la base de la cercanía entre ambas variables (variedades y localidades) se pueden identificar los macroambientes o grupos de localidades (usualmente delimitados en el gráfico por líneas de puntos) donde, en forma consistente, algunos cultivares muestran mejor adaptación o comportamiento. El criterio de interpretación es que aquella variedad que se ubica en el vértice del polígono es la de mejor comportamiento en ese macroambiente. Es obvio que el agrupamiento de las localidades está en función de los datos disponibles, de modo que no necesariamente se forman los mismos macroambientes cuando se analizan diferentes conjuntos de ensayos (44).

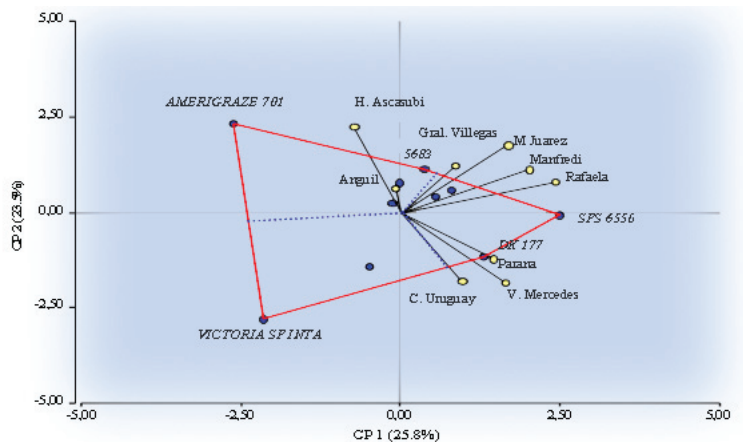


**FIGURA 2** – Representación (biplot) de la interacción cultivar\*localidad basado en el análisis de las componentes principales (CP) estimadas sobre el rendimiento de forraje acumulado de los cultivares sin reposo invernal incluidos en la serie de ensayos 1996-2000 de la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA. Adaptado de Spada (33, 34, 35).

de esta manera, se puede apreciar que entre los cultivares sin reposo invernal, Quadrella y Sequel H.R. fueron los menos productivos en todas las localidades y que Coronado fue más productivo en Marcos Juárez, Rafaela, Villa Mercedes y Anguil y SW 9306 lo fue en General Villegas, Santiago del Estero y Paraná (Figura 2).

Entre los cultivares de reposo intermedio, los de menor producción en todas las localidades fueron Victoria SP INTA y Amerigraze 701 (aunque este último se destacó en Hilario Ascasubi), en tanto que entre los más productivos se destacó SPS 6550, en el resto de las localidades, excepto Anguil (Figura 3). Finalmente, entre los cultivares con reposo se destacaron por su rendimiento Proleaf, 555, Key y Alfa50 (datos no mostrados).

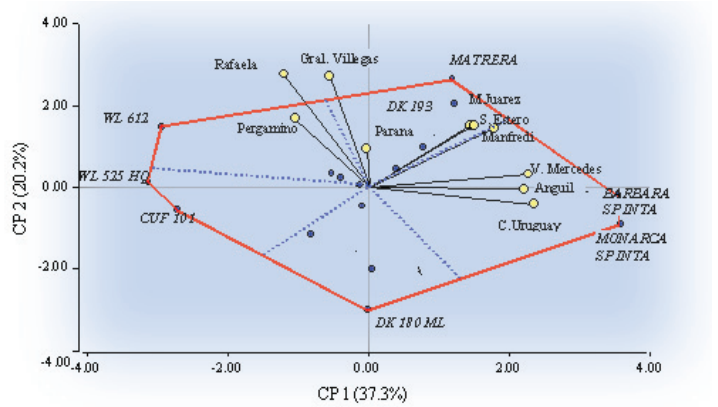
Aplicando la misma metodología para el análisis de la serie de ensayos 1998-2002, se aprecian fuertes interacciones cultivar\*localidad. Entre los cultivares sin reposo invernal, Matrera y DK 193 se destacaron en General Villegas, Paraná, Marcos Juárez, Santiago del Estero y Manfredi, y Bárbara SP INTA y Mo-



**FIGURA 3** – Representación (biplot) de la interacción cultivar\*localidad sobre la base del análisis de las componentes principales (CP) estimadas sobre el rendimiento de forraje acumulado de los cultivares de reposo invernal intermedio, que se incluyeron en la serie de ensayos 1996-2000 de la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA. Adaptado de Spada (33, 34, 35).

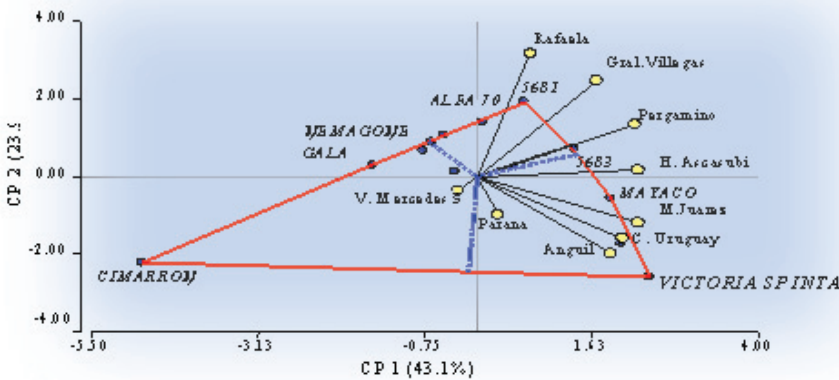
marca SP INTA lo hicieron en Villa Mercedes, Anguil y Concepción del Uruguay. Entre los de menor rendimiento se ubicaron WL 525, CUF 101 y WL 612, aunque este último tuvo un buen comportamiento en Rafaela y Pergamino (Figura 4). Es interesante destacar que en todos estos ensayos el histórico cv CUF 101 fue superado por todas las otras variedades participantes, lo que posiblemente se relaciona con el avance genético logrado por el mejoramiento en estas últimas décadas.

Entre los cultivares de reposo invernal intermedio evaluados en 1998-2002 y con una marcada diferencia respecto de lo ya comentado para la serie 1996-2000 el cv Victoria SP INTA se ubicó, junto con Mayacó y 5683, en el grupo de los de mayor producción, especialmente en Paraná, Anguil, Concepción del Uruguay, Marcos Juárez e Hilario Ascasubi (Figura 5). Por su parte, el cv 5681 se destacó en Rafaela, General Villegas y Pergamino, mientras que Cimarrón 3I fue el que registró las menores producciones en todas las localidades. En este último caso es probable que el mayor reposo invernal (GRI 5) de esta variedad haya contribuido, al menos en parte, a su menor rendimiento.



**FIGURA 4** – Representación (biplot) de la interacción cultivar\*localidad basado en el análisis de las componentes principales (CP) estimadas sobre el rendimiento de forraje acumulado de los cultivares sin reposo invernal de la serie de ensayos 1998-2002 de la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA. Adaptado de Spada (34, 35 36)

Aunque pueda resultar obvio, es importante aclarar que si bien en las Figuras 2 a 5 se indicaron solamente los cultivares de mejor adaptación en cada macroambiente (vértices de los polígonos), también existen grupos de cultivares con producciones de forraje intermedias en cada uno de ellos.



**FIGURA 5**- Representación (biplot) de la interacción cultivar\*localidad sobre la base del análisis de las componentes principales (CP) estimadas sobre el rendimiento de forraje acumulado de los cultivares de reposo invernal intermedio que se incluyeron en la serie de ensayos 1998-2002 de la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA. Adaptado de Spada (34, 35 36)

Otra observación interesante que se infiere del análisis de los datos que se obtienen de la red de evaluación de cultivares es que, a medida que se van sucediendo las temporadas de producción, se registra una disminución de la producción de forraje en todos los cultivares.

Esta declinación del rendimiento puede encuadrarse dentro de uno de estos dos modelos alternativos: a) *lineal*, donde se verifica una disminución constante en el tiempo, que puede ser del orden de 0.5 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, como la registrada en Paraná para el período 1998-2002, o de aproximadamente 5 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, como la observada en General Villegas para el mismo período; y b) *cuadrática*, donde se aprecia un pico de producción en el segundo año y luego un decrecimiento paulatino en la tercera y cuarta temporadas, tal como sucedió, en líneas generales, en Marcos Juárez, Rafaela, Anguil y Manfredi en la misma serie de ensayos. En cualquier caso, la merma de productividad de

forraje se asocia a una pérdida de densidad (número de plantas  $m^{-2}$ ) a lo largo de la vida del cultivo y/o a un debilitamiento de las plantas (9).

## Distribución estacional de la producción de forraje

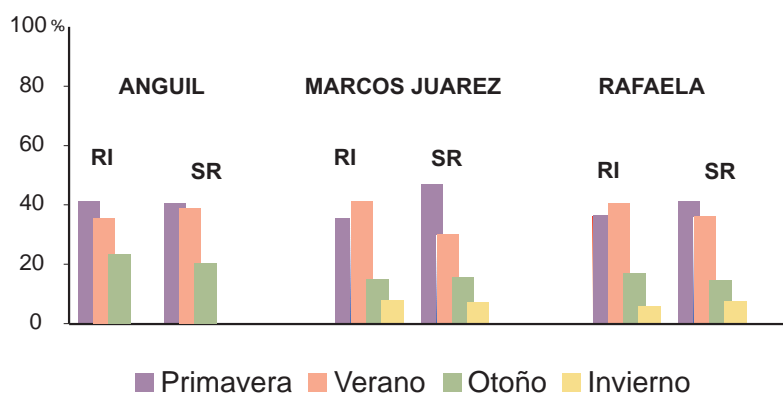
Como se mencionara anteriormente, los cultivares con reposo detienen su crecimiento en otoño-invierno, a diferencia de las variedades sin reposo que presentan una estación de crecimiento más extendida y, por ende, un período de utilización más amplio en el tiempo (31, 43). No obstante, la expresión de la potencial distribución estacional del rendimiento de forraje que cada cultivar posee está altamente influenciada por las condiciones ambientales donde se lo cultive.

En ese contexto, Spada (37) analizó la distribución estacional de producción de MS de los cultivares de reposo intermedio y sin reposo incluidos en la serie de ensayos 1998/2002 de la Red de Evaluación del INTA, considerando la información producida en tres localidades agroecológicamente diferentes: Anguil (zona semiárida), Marcos Juárez (zona subhúmeda) y Rafaela (zona húmeda). Conforme se muestra en la Figura 6, mientras que en Marcos Juárez y Rafaela el ciclo de crecimiento de ambos grupos de reposo invernal incluyó el invierno, en la zona semiárida esos mismos cultivares no registraron crecimiento invernal, aun para el grupo sin reposo.

También en la Figura 6 se aprecia que 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. De conformidad con esto último, se ha observado en Manfredi (zona semiárida) que la escasez de precipitaciones en invierno/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 (Figura 7). Complementariamente, una visión más detallada de la Figura 6 indica 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.

Las diferencias de distribución de la producción a lo largo de la temporada entre los cultivares de reposo intermedio y sin reposo se relacionaron con sus respectivas tasas de crecimiento. En la Figura 8 se resumen las tasas de crecimiento calculadas para Anguil, Mar-

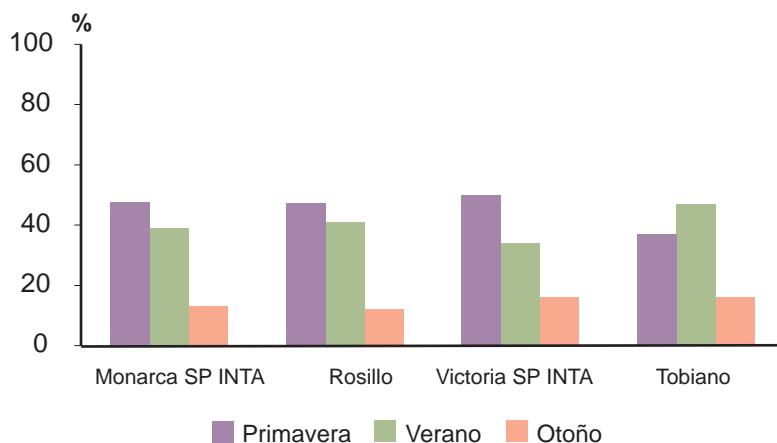


**FIGURA 6-** Distribución estacional de la producción de forraje de los mismos cultivares de reposo intermedio y sin reposo evaluados en tres localidades de la Región Pampeana: Anguil (semiárido), Marcos Juárez (subhúmedo) y Rafaela (húmedo) durante el período 1998-2002. Adaptado de Spada (37).

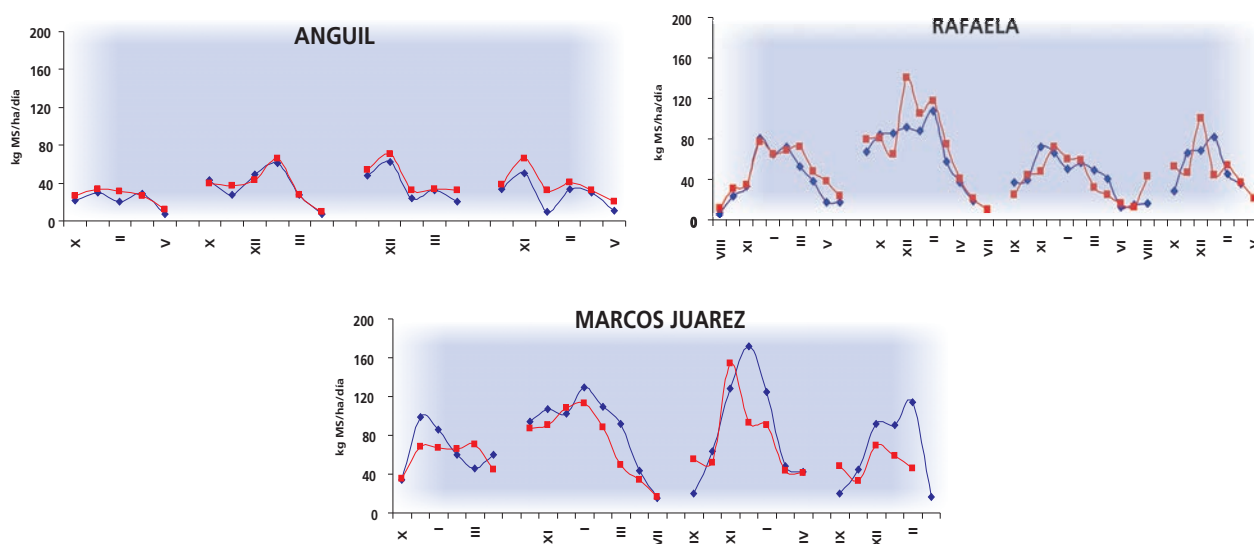


cos Juárez y Rafaela durante el período 1998-2002. Se puede observar que se alcanza un pico a mediados de primavera-principios de verano y que luego, al igual que lo informado por Brummer y col. (3), las tasas comienzan a disminuir a partir de mediados de verano, como respuesta a la disminución en la longitud del día. En líneas generales, mientras que en Anguil y Rafaela los dos grupos de reposo registraron valores similares a lo largo del año, en Marcos Juárez se aprecia que las variedades de reposo intermedio presentaron tasas más elevadas que las sin reposo.

En Anguil, ambos grupos de cultivares exhibieron similares tasas de crecimiento a lo largo del año, con valores máximos de 70 kg MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Por el contrario, en Marcos Juárez y Rafaela las tasas de crecimiento variaron entre años y estaciones: mientras que en la primera localidad los valores máximos se alcanzaron durante el tercer ciclo y fueron del orden de 150 kg MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para los cultivares de reposo intermedio, en Rafaela el mayor crecimiento se alcanzó en los



**FIGURA 7** - 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 período 2000-2003. Adaptado de Spada (37).



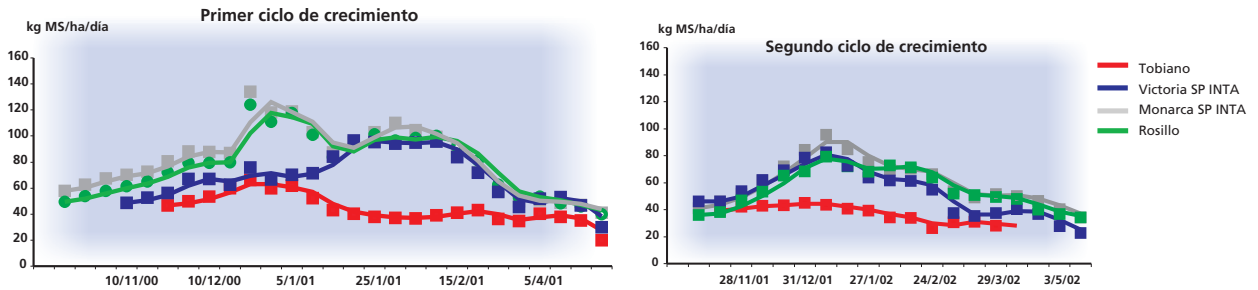
**FIGURA 8** – Valores promedio de tasas de crecimiento (kg MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) calculadas en el período 1998-2002 para cultivares de reposo intermedio (líneas azul) y sin reposo (línea roja) en Anguil, Rafaela y Marcos Juárez. En números romanos se indican los meses del año correspondientes a cada temporada de evaluación (1998/99, 1999/00, 2000/01 y 2001/02).

cultivares sin reposo y llegó a los 140 kg MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> durante la segunda temporada. Otro comentario interesante es que en Rafaela los cultivares sin reposo tuvieron una mayor tasa de crecimiento en el otoño-invierno, en tanto que en Marcos Juárez las tasas de crecimiento de los cultivares de reposo intermedio fueron consistentemente superiores (29).

En Balcarce, Pece y Cangiano (26) determinaron que las tasas de crecimiento de Victoria SP INTA (reposo intermedio) y Monarca SP INTA (sin reposo) fueron muy próximas entre sí y



siguieron un patrón similar al graficado para Anguil. Las mayores diferencias se produjeron entre y dentro de años de utilización, lo que -de acuerdo con los mismos autores- refleja un mayor efecto de las condiciones meteorológicas que de las características del reposo invernal. También sugirieron que la igualdad de tasas de crecimiento entre ambos grupos de reposo se relacionaría con una suerte de compensación entre tamaño y número de tallos por unidad de superficie.



**FIGURA 9** - Tasas de crecimiento ( $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) registradas en Manfredi durante el período 2000/02 en 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). Adaptado de Spada (37).

De la observación de la Figura 9 se infiere que Monarca SP INTA y Rosillo tuvieron las máximas tasas de crecimiento, que alcanzaron los  $150 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  durante la primavera; a partir de allí, se registró una declinación continua del crecimiento hacia el otoño, donde todos los cultivares crecieron a una tasa promedio de  $15 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . Esta similitud de crecimiento otoñal entre todas las variedades se relaciona con el hecho de que -como ya fuera comentado- la falta de disponibilidad de agua en ese momento impide la expresión del mayor potencial de crecimiento que tienen los cultivares de menor reposo invernal.

Por su parte, Zaniboni y Dillon (41) observaron que en General Villegas, bajo condiciones de pastoreo, las tasas de crecimiento primaverales de los cultivares de GRI 5-7 fueron superiores a las de los cultivares sin reposo (GRI 9), con valores máximos valores de 80 y 70  $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , respectivamente. En el otoño, las tasas de crecimiento no sólo disminuyeron sino que revirtieron, llegando a los 7 y 14  $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para los cultivares de reposo intermedio y sin reposo, respectivamente.

Es importante señalar, como concepto general, que las diferencias en las tasas de crecimiento que pueden detectarse entre cultivares de distinto grado de reposo a lo largo de la temporada no siempre se traducen en diferencias de producción acumulada de forraje. Esto también fue señalado por otros autores para otras condiciones de cultivo (43).

## Persistencia

Entre los varios factores que determinan la persistencia de la alfalfa, la tolerancia a las bajas temperaturas invernales y la resistencia a plagas y enfermedades suelen consignarse como los más importantes. Sin embargo, respecto de esto último, Volenec y col. (42) no encontraron una alta correlación entre buenos niveles de resistencia a plagas y enfermedades y elevados porcentajes de persistencia del cultivo en una amplia zona de los EE.UU. Este hecho, que es coincidente con la experiencia de muchos años de ensayos en varios ambientes de la Región Pampeana (*D. Basigalup, comunicación personal*), indicaría que la persistencia del cultivo es un fenómeno complejo, donde el comportamiento sanitario sería sólo uno de los factores. En ese contexto, la supervivencia de las plantas se basaría mayoritariamente

en procesos fisiológicos interdependientes, que condicionarían la adaptación y el comportamiento a lo largo del tiempo.

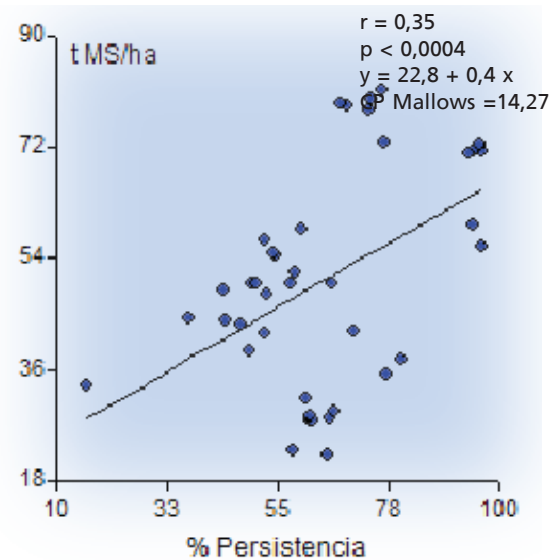
Como ya fuera señalado, el rendimiento de forraje está directamente relacionado con la densidad de plantas del cultivo. Analizando la información producida por la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA durante el período 1990-2002, se encontró una relación lineal ( $r = 0,35$  ;  $p < 0,0004$ ) entre la producción de forraje acumulada durante cuatro años y la persistencia de cultivares de distinto GRI (Figura 10). Esta observación es coincidente con lo detectado por Cangiano (9) y por los ensayos de la Cámara de Semilleristas de la Bolsa de Cereales (CSBC) (6, 7, 8).

En general, la relación directamente proporcional entre mayor persistencia y mayor producción de forraje se observó en todas las localidades de la red, aunque en algunas de ellas -como Marcos Juárez, Rafaela y Anguil- la correlación fue más fuerte. No obstante, este tipo de relación no siempre se verifica (17) dado que el cultivo puede compensar la pérdida de plantas con un aumento del número de tallos en las plantas remanentes (30). Este fenómeno explicaría la inconsistencia de algunos resultados registrados en los ensayos de la red del INTA durante los ciclos 1994-1998 y 1998-2002.

Otro concepto muy difundido y aceptado es la existencia de una relación directa entre grado de reposo y persistencia, en virtud de la cual se dice que los cultivares de mayor reposo son los más longevos (29). Sin embargo, el análisis de los últimos diez años de ensayos de la red del INTA permite concluir que esta tendencia no es necesariamente aplicable en todos los casos. Si bien en la Argentina las variedades con reposo (GRI 2 – 4) no son normalmente utilizadas, los cultivares más persistentes en la red del INTA fueron los de GRI 3, que sólo se evaluaron en Anguil, Hilario Ascasubi y Balcarce. De cualquier modo, es importante resaltar que en la mayoría de las localidades de la red los cultivares conservaron, al cabo de cuatro temporadas de evaluación, un promedio de alrededor del 60% de la población original de plantas.

La menor persistencia de los cultivares sin reposo a altas latitudes en el Hemisferio Norte se deberían a su significativamente menor resistencia a las bajas temperaturas; sin embargo, esas condiciones extremas no se dan en la mayor parte de la región alifera argentina, donde –en general- las condiciones climáticas son benignas para el cultivo. De cualquier manera, Volonec y col. (42) consideran que el mejoramiento genético tradicional por mayor resistencia a bajas temperaturas invernales realizado en EE.UU. no ha sido totalmente efectivo para aumentar la persistencia.

Analizando los datos de la serie 1990-2002 de la red del INTA, se aprecia que si bien la persistencia promedio de los cultivares de distinto grado de reposo fue similar, la variabilidad entre materiales de menor reposo (GRI 6-9) fue mayor que entre los de mayor reposo (GRI 3-5) (Figura 11). Por su parte, la información recogida en la red de la CSBC (6, 7, 8) indica que, a diferencia de lo que ocurre en la región central del país, en el sudeste y centro de la

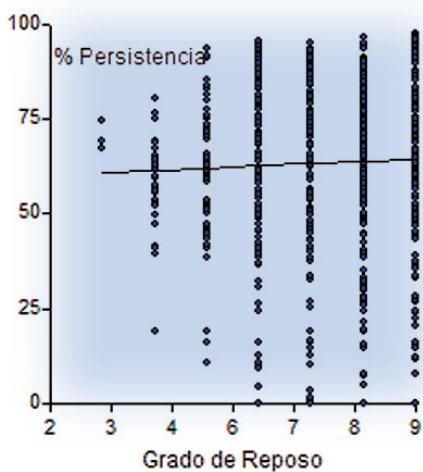


**FIGURA 10** - Relación entre producción de forraje acumulada ( $\text{tn MS ha}^{-1}$ ) y persistencia (%) de cultivares de alfalfa con distinto grado de reposo invernal incluidos en la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa - INTA durante el período 1990-2002.

provincia de Buenos Aires los cultivares con reposo tuvieron una mayor persistencia que los sin reposo. No obstante, Cangiano (9) considera que en Balcarce esas diferencias no fueron significativas.

Tal como se describiera con la producción de forraje, en el caso de la persistencia también se observa una importante interacción variedad\*localidad. Si se asume que el comportamiento exhibido por Monarca SP INTA y Victoria SP INTA puede extrapolarse a los otros cultivares evaluados en la red del INTA durante 1990-2002, puede afirmarse que para una misma variedad la persistencia varió tanto entre períodos de utilización como entre localidades.

En Rafaela, por ejemplo, la persistencia de Monarca SP INTA osciló entre 19% y 85% y en Marcos Juárez lo hizo entre 29% y 82%.



**FIGURA 11** – Persistencia (%) de cultivares de alfalfa incluidos en la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA en el período 1990-2002 agrupados según su grado de reposo invernal (3 a 9).

Por su parte, la persistencia de Victoria SP INTA, con la excepción de Rafaela, fue bastante más estable entre ciclos dentro de una misma localidad o entre localidades de una misma serie de ensayos. Durante todo el período considerado, tanto Victoria SP INTA como Monarca SP INTA tuvieron siempre mayor proporción de supervivencia en Manfredi y Marcos Juárez que en General Villegas y Rafaela. A lo largo de toda la red, las variedades 5683, 5929, 5715, 5681, WL 414, WL 612, WL 525, Monarca SP INTA y Victoria SP INTA finalizaron en todas las series de ensayos con persistencias superiores al 70%; por el contrario, Cordobesa INTA -un viejo cultivar de GRI 6 y susceptible a plagas y enfermedades- estuvo entre los de menor persistencia en todas las localidades (32, 33, 34, 35 36).

Como ya fuera señalado al principio de esta sección, la asociación entre persistencia y daño de enfermedades o plagas no sigue una tendencia clara. Sin embargo, en algunas ocasiones, la ocurrencia de condiciones ambientales muy favorables para los patógenos y/o para el estrés de las plantas puede condicionar grandemente la supervivencia de las variedades. Por ejemplo, en Rafaela y Concepción del Uruguay, durante la temporada 1990-92, se observó que el anegamiento del suelo causado por intensas lluvias favoreció el ataque de enfermedades de raíz y corona, al punto de ocasionar una gran mortandad de plantas en el segundo año. Los cultivares Cordobesa INTA, Esmeralda SP INTA, Cuf 101 y Florida 77, de medianos a bajos niveles de resistencia a ese tipo de enfermedades, fueron los más afectados (32). Más recientemente en Paraná, donde a un período de déficit hídrico le siguieron precipitaciones de 400 mm, se produjo una importante pérdida de plantas en un cultivo de 3 años por la acción del complejo *Diaporthe/Phomopsis* (*N. Formento, EEA Paraná, comunicación personal*). En esta ocasión, los cultivares sin reposo invernal se vieron más afectados que aquellos pertenecientes a grupos de reposo intermedio (*E. Di Nucci, EEA Paraná, comunicación personal*).

Bajo condiciones de pastoreo, Zaniboni y Dillon (41) no registraron diferencias de supervivencia entre cultivares de GRI 5 y 9, logrando en General Villegas pasturas con una alta persistencia. Por otro lado, en el sur de la provincia de Buenos Aires y en asociaciones de alfalfa con pasto llorón, Aduriz y col. (1) no detectaron diferencias de persistencia entre variedades de reposo intermedio y sin reposo, observando una disminución paulatina y lineal de la población de plantas a través de los años.

## Resistencia a plagas y enfermedades

Además del efecto que las plagas y las enfermedades ejercen o podrían ejercer sobre la productividad y persistencia de la alfalfa, se debe tener en cuenta su posible acción en detrimento de la calidad del forraje y en la predisposición para intensificar la acción de otros factores bióticos y abióticos de estrés.

Para la elección de los cultivares de alfalfa a implantar se deben conocer las plagas y enfermedades que mayor importancia tienen en el área a sembrar, especialmente de aquellas que pueden disminuir económicamente la producción o la persistencia. En un trabajo de Hijano y col. (18) se identificaron las principales enfermedades que, por difusión y grado de daño, afectan al cultivo en la Región Pampeana. Este trabajo sirvió de base para la fijación de los objetivos de mejoramiento genético para el desarrollo de variedades con resistencia múltiple a los principales problemas sanitarios del cultivo.

Sobre la base de su comportamiento frente al ataque de plagas y enfermedades, los cultivares se pueden clasificar básicamente como: a) *resistentes*: las plantas son capaces de restringir o eliminar la actividad de un patógeno; b) *tolerantes*: las plantas no impiden el avance ni el desarrollo del patógeno pero lo soportan sin manifestar disminución significativa de su producción, y c) *susceptibles*: las plantas son incapaces de restringir la actividad del patógeno y sufren daños económicos o la muerte.

La forma usual de expresar el nivel de resistencia a plagas y enfermedades que posee un cultivar de alfalfa es a través de una categorización que se basa en el porcentaje de plantas resistentes presentes en la población (Cuadro 3). Los porcentajes de resistencia se determinan en pruebas estandarizadas bajo condiciones controladas y con participación de testigos resistentes y susceptibles (25).

Nótese que en el Cuadro 3 no se incluye la categoría «inmune» y que la categoría «altamente resistente» supone la existencia de hasta 49% de plantas susceptibles en la población. De ese modo, un primer análisis de la situación podría sugerir que esta categorización reflejara niveles de resistencia aparentemente insuficientes para proveer un adecuado nivel de protección al cultivo. No obstante, Miller (23) concluyó en que si al menos el 30% de las plantas de una pastura posee resistencia, y asumiendo que esas plantas resistentes estén distribuidas al azar en toda la superficie, ese nivel sería suficiente como para interrumpir la difusión del patógeno al resto del lote.

**CUADRO 3** – Categorías de resistencia sobre la base de los porcentajes de plantas resistentes a plagas y enfermedades. Adaptado de NAAIC, Standard Tests (25).

AR	altamente resistente	>51%
R	resistente	31 - 50%
MR	moderadamente resistente	15 - 30%:
BR	baja resistencia	6 - 14%
S:	Susceptible	< 5%

En el Cuadro 4 se presenta la nómina de los cultivares que participaron en los ensayos de la red del INTA en el período 1994-2004. Se incluye también de cada uno de ellos el grado de reposo invernal y reacción frente a las económicamente más importantes plagas y enfermedades: pulgón moteado (*Therioaphis trifolii*), pulgón verde (*Acyrtosiphum pisum*), pulgón azul (*A. kondoi*), fitóftora (*Phytophthora megasperma* f sp *medicaginis*), fusariosis (*Fusarium oxysporum* f sp *medicaginis*) y antracnosis (*Colletotrichum trifolii*).

**CUADRO 4**–Nómina de cultivares ordenados por grado de reposo invernal (GRI) que fueron incluidos en los ensayos de la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa del INTA entre 1994 y 2006. Se incluye también la categorización de sus niveles de resistencia a pulgones y a enfermedades económicamente importantes. Adaptado de Spada (1994, 1996, 1998, 2000, 2002, 2004) (32, 33, 34, 35 36, 38). Referencias: AR = alta resistencia (> 51 %); R = resistencia (31-50%); MR = moderada resistencia (15-30%); BR = baja resistencia (6-14%) y S = susceptibilidad (<5%).

CULTIVAR	GRI	Pulgón			Fitoftora	Fusariosis	Antracnosis
		Moteado	Verde	Azul			
5472	4	R	AR	--	MR	AR	MR
ALFA 50	4	R	R	R	MR	R	BR
ALFAGRAZE	4	--	--	--	BR	R	MR
ANCHOR	4	-	-	T	S	R	-
HORIZON	4	-	AR	-	AR	R	R
LEGE ND	4	BR	R	--	AR	AR	AR
M 420	4	AT	R	R	R	R	AR
RUSHMORE	4	AR	AR	S	AR	AR	AR
WL 322 HQ	4	AR	AR	R	R	AR	MR
WL 323	4	MR	R	--	AR	AR	AR
555	5	AR	AR	--	--	MR	--
5681	6	AR	R	AR	AR	AR	AR
ACONCAGUA	5	AR	AR	MR	MR	R	MR
ARCHER	5	AR	AR	AR	R	MR	R
BAR 580	5	R	R	R	AR	R	AR
CIMARRÓN 3 I	5	R	R	--	R	AR	AR
CIMARRON VR	5	AR	AR	MR	MR	AR	AR
F 174	5	R	R	R	R	R	R
KEY II	5	R	MR	R	AR	AR	AR
MEDE	5	AR	R	R	R	AR	R
NEMAGONE	5	AR	AR	MR	AR	AR	R
PROLEAF	5	--	MR	--	AR	AR	AR
QUATRO HR	5	--	MR	--	AR	R	AR
VECTOR	5	R	R	R	R	R	R
ABI 700	6	AR	AR	AR	R	AR	AR
ANDINA	6	R	R	MR	AR	R	MR
AURORA	6	AR	--	R	AR	--	R
CANDOMBE	6	AR	AR	AR	AR	AR	AR
DK 166	6	AR	R	AR	AR	AR	AR
DORIME	6	R	R	R	R	R	AR
EXPRESS	6	AR	AR	AR	AR	--	MR
F 161	6	R	R	R	R	R	R
GALA	6	AR	AR	R	AR	AR	AR
GARUFA	6	AR	AR	R	AR	AR	AR
N 650	6	AR	R	AR	AR	AR	AR
PINTADO	6	AR	AR	AR	R	AR	R
PINTO	6	AR	AR	R	AR	AR	AR
PRIMAVERA	6	AR	MR	T	T	AR	MR
PROINTA LUJAN	6	R	AR	MR	MR	AR	BR
RAM	6	AR	AR	R	AR	AR	AR
SPS 6550	6	R	AR	R	R	--	AR



continuación

CULTIVAR	GRI	Pulgón			Fitoftora	Fusariosis	Antracnosis
		Moteado	Verde	Azul			
TABA	6	AR	R	R	BR	R	MR
TAHOE	6	AR	R	MR	AR	AR	AR
TANGO	6	AR	AR	R	AR	AR	AR
VALLE HERMOSO	6	AR	R	R	MR	R	MR
VENUS	6	R	R	R	R	AR	R
VERZY	6	MR	R	R	MR	AR	AR
VICTORIA SP INTA	6	R	R	MR	MR	R	MR
WL 414	6	AR	AR	AR	R	AR	R
WL 442	6	AR	AR	AR	AR	AR	AR
WL 611	6	AR	AR	AR	AR	AR	AR
5683	7	R	R	S	R	R	S
686	7	AR	R	AR	R	AR	AR
708	7	R	R	MR	R	AR	MR
AMERIGRAZE 701	7	MR	R	R	R	AR	R
BARMED	7	R	R	R	MR	R	R
DIAMOND	7	AR	AR	AR	R	R	AR
DK 177	7	AR	AR	AR	AR	AR	R
GENESIS	7	R	--	AR	R	--	AR
MAYACO	7	R	MR	R	MR	R	MR
PROINTA PATRICIA	7	R	AR	MR	R	AR	BR
RIO	7	AR	AR	AR	AR	AR	AR
SEMIT 711	7	R	AT	AT	R	-	AT
SUTTER	7	AR	AR	AR	AR	AR	BR
VERDOR	7	R	R	R	R	AR	R
WL 457	7	AR	AR	AR	R	AR	MR
5715	8	AR	AR	AR	R	AR	AR
5888	8	AR	R	R	R	AR	--
ACA 901	8	AR	MR	MR	R	AR	MR
ALAZAN	8	AR	AR	AR	AR	AR	AR
ALTO	8	AR	AR	AR	R	R	R
ARMONA	8	AR	AR	R	MR	AR	MR
BACANA	8	AR	AR	AR	AR	AR	MR
BAR 814	8	AR	R	R	AR	AR	AR
BARALFA 85	8.5	AR	R	R	AR	AR	R
DK 180 ML	8	AR	AR	AR	AR	AR	AR
EL GRANDE	8	AR	R	R	AR	AR	MR
ETERNA	8	R	-	MR	MR	-	BR
FALCON	8	MR	MR	MR	MR	AR	--
FRANCA	8	AR	R	R	R	AR	R
FULANA	8	AR	AR	AR	AR	AR	AR
GATEADO	8	AR	AR	AR	AR	AR	R
KERN	8	R	AR	AR	AR	AR	AR
MAGNA 8	8	AR	AR	AR	--	--	--
MATRERA	8	R	AR	AR	--	AR	BR
MAXIDOR	8	R	R	A	MR	AR	--
MEDINA	8	R	R	R	AR	AR	--

continuación

CULTIVAR	GRI	Pulgón			Fitoftora	Fusariosis	Antracnosis
		Moteado	Verde	Azul			
MESA	8	AR	R	R	R	R	BR
N 890	8	R	AR	AR	AR	R	R
NK MATRERA	8	R	AR	AR	--	AR	BR
ETERNA	8	R	-	MR	MR	-	BR
QUADRELLA	8	R	R	MR	MR	-	R
TOPPER	8	R	MR	MR	AR	AR	R
WL 525 HQ	8	AR	AR	AR	AR	AR	R
YOLO	8	AR	AR	R	AR	MR	AR
5939	9	AR	AR	AR	AR	AR	R
969	9	AR	AR	AR	AR	AR	AR
ACA 900	9	AR	MR	AR	R	AR	MR
ALFA 200	9	R	R	R	R	R	T
ARAUCANA	9	R	R	R	R	R	MR
BARALFA 9242	9	AR	AR	AR	AR	R	R
BARBARA SP INTA	9	R	MR	R	R	AR	MR
CORONADO	9	R	AR	R	R	AR	R
CUF 101	9	AR	AR	AR	MR	AR	S
DK 191	9	AR	AR	AR	AR	AR	AR
DK 193	9	AR	AR	AR	AR	AR	MR
LPS 9500	9	AR	AR	AR	AR	AR	MR
MECCA II	9	--	AR	AR	AR	AR	BR
MILONGA	9	AR	AR	AR	AR	AR	MR
MILONGA II	9	AR	AR	AR	AR	AR	AR
MONARCA SP INTA	9	AR	AR	AR	R	R	MR
N 910	9	R	R	AR	MR	R	--
NK VAQUERA 9	9	R	AR	AR	AR	AR	BR
REINA	9	AR	R	R	R	R	MR
SEQUEL HR	9	R	R	MR	R	-	AR
TRINIDAD 87	9	AR	AR	AR	MR	AR	S
VILLA	9	MR	R	R	R	R	MR
WL 903	9	AR	AR	AR	AR	AR	MR
WL 612	9	AR	AR	AR	AR	R	BR
ZAINO	9	AR	AR	R	AR	AR	MR
SALADO	9,5	R	MR	AR	-	R	-
MIREYA	10	AR	AR	AR	AR	AR	MR
ROSILLO	10	AR	AR	AR	R	AR	-
RUANO	10	AR	AR	AR	R	-	AR

## Consideraciones finales

Es importante mencionar que si bien la información presentada en este capítulo ha sido generada en ensayos conducidos bajo condiciones de corte, hay también suficiente evidencia que establece que el ordenamiento de los cultivares por producción de forraje y persistencia bajo condiciones de pastoreo no difiere mayormente de observada bajo corte (24, 17). Esta información adquiere una gran trascendencia para el país, dado que la mayor parte de la superficie alfalfada se utiliza en condiciones de pastoreo directo. Vale decir que, aun bajo estas condiciones, es totalmente posible obtener cultivos de alta producción o elevada persistencia al cabo de cuatro años.

El alto número de cultivares actualmente disponibles en el mercado y la fuerte interacción cultivar\*localidad tornan imprescindible el poder contar con información sobre el comportamiento de cada variedad en el área específica, donde se implantará el cultivo. A eso precisamente apuntan las redes de evaluación de cultivares, tanto públicas (INTA) como privadas. También sobre la base de la marcada influencia que el ambiente ejerce sobre el comportamiento de los cultivares, sería deseable que los programas de mejoramiento para el desarrollo de variedades incluyeran como objetivos la adaptación a diferentes áreas ecológicas, o al menos para macroambientes particulares.

## Bibliografía

1. ADURIZ, M. A., A. O. GALGANO y M. C. SALDUNGARAY. 1997. Asociaciones de pasto llorón con alfalfas de diferente latencia. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 17(2): 125-137.
2. BUSBICE, T. H. and C. P. WILSIE. 1965. Fall growth, winter hardiness, recovery after cutting and wilt resistance in F2 progenies of Vernal x DuPuits alfalfa crosses. *Crop Sci.* 5: 429-432.
3. BRUMMER, E. C., M. M. SHAH and D. LUTH. 2000. Reexamining the relationship between fall dormancy and winter hardiness in alfalfa. *Crop Sci.* 40: 971-977.
4. BRUMMER, C., K., J. MOORE and C. BJORK. 2002. Agronomic consequences of dormant nondormant alfalfa mixtures. *Agron. J.* 97: 782-785.
5. BRUNO, O. A. 2004. Estadísticas y evolución productiva de cultivares forrajeros. Leguminosas (alfalfa y tréboles). *In: Forrajes 2004 (ed.)* Cómo producir y aprovechar el forraje eficientemente en la empresa agropecuaria del futuro. Seminario Técnico. Buenos Aires, Argentina, pp. 81-84.
6. CÁMARA DE SEMILLERISTAS DE LA BOLSA DE CEREALES. 2001. Pastura Test - Resultados de la campaña 2000/01. Buenos Aires, Argentina, 86 p.
7. CÁMARA DE SEMILLERISTAS DE LA BOLSA DE CEREALES 2002. Pastura. Test. Resultados de la campaña 2002/02. Buenos Aires, Argentina, 76 p.
8. CÁMARA DE SEMILLERISTAS DE LA BOLSA DE CEREALES 2003. Pastura Test. Resultados de la campaña 2002/03. Buenos Aires, Argentina, 74p.
9. CANGIANO, C. A. 2002. Rendimiento y persistencia de cultivares. *In: C. A. Cangiano y L. Abdelhadi (ed.)* Manual de Alfalfa (CD). INTA. Buenos Aires, Argentina, pp. 111-159.
10. CASLER, M. and D. J. UNDERSANDER. 2000. Forage Yield precision, experimental design, and cultivar mean separation for alfalfa cultivar trials. *Agron. J.* 92: 1064-1071.
11. CASTONGUAY, Y., P. NADEAU, P. LECHASSEUR and L. CHOUINARD. 1995. Differential accumulation of carbohydrates in alfalfa cultivars of contrasting winterhardiness. *Crop. Sci.* 35: 509-516.
12. CUNNINGHAM, S. M., J. J. VOLENEC and L. R. TEUBER. 1998. Plant survival and root and bud composition of alfalfa populations selected for contrasting fall dormancy *Crop Sci.* 38: 962-970.
13. CUNNINGHAM, S. M., J. A. GANA, J. J. VOLENEC and L. R. TEUBER. 2001. Winter hardiness, root physiology, and gene expression in successive fall dormancy selections from 'Mesilla' and 'CUF 101' alfalfa *Crop Sci.* 41: 1091-1098.
14. DUBOIS, M. 2004. La evolución del mercado varietal forrajero y la red de ensayos de la cámara de semilleras. *In: Forrajes 2004 (ed.)* Cómo producir y aprovechar el forraje eficientemente en la empresa agropecuaria del futuro. Seminario Técnico. Buenos Aires, Argentina, pp. 77-80.

15. HAAGENSON, D. M., S. M. CUNNINGAM and J. J. VOLENEC. 2003. Root physiology of less fall dormant, winter hardy alfalfa selections. *Crop Sci.* 43: 1441-1447.
16. HALL, M., W. S SMILES and R. A DICKERSON. 2000. Morphological development of alfalfa cultivars selected for higher quality. *Agron J.* 92: 1077-1080.
17. KALLENBACH, R. L., C. J NELSON and J. H. COUTTS. 2002. Yield, quality, and persistence of grazing- and hay-type alfalfa under three harvest frequencies *Agron. J.* 94: 1094-1103.
18. HIJANO, E. H., D. H. BASIGALUP, O. A. BRUNO, R. J. LEON, G. RINALDI y M. del C. SPADA. 1986. Diagnósticos comparativos de problemas radiculares de alfalfa en tres localidades de la Argentina. *Revista Agronómica de Manfredi (RAM)* 2 (2): 5-21.
19. HIJANO, E. H. 1993. Variedades mejoradas: ¿Superan a las alfalfa comunes?. *In: Anguil a Toda Alfalfa - 3º Jornada de Actualización para Productores Agropecuarios.* EEA Anguil INTA. Anguil, La Pampa, Argentina, pp. 1-3.
20. KNIPE, B., P. REISEN and M. McCASLIN. 1998. The relationship between fall dormancy and stand persistence in alfalfa varieties. *Proceedings 28<sup>th</sup> California Alfalfa Symposium.* University of California (<http://alfalfa.ucdavis.edu>).
21. 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.
22. MARBLE, V. 1988. Relative advantages of different dormancies of alfalfa grown in Central and Northern California. *Proceedings 18<sup>th</sup> California Alfalfa and Forage Symposium* (<http://alfalfa.ucdavis.edu>).
23. MILLER, D. R. 1993. Alfalfa disease and resistant varieties. *Proceedings 23<sup>rd</sup> California Alfalfa and Forage Symposium* (<http://alfalfa.ucdavis.edu>).
24. MOMBELLI, J. C. y M. del C. SPADA. 1995. Adaptación al pastoreo de cultivares de alfalfa con distinto grado de reposo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 15 (1): 278-280.
25. NORTH AMERICAN ALFALFA IMPROVEMENT CONFERENCE. 1998. C. Fox, R. Berberet, F. Gray, C. Grau, D. Jessen and M. Peterson (eds) *Standard Tests to Characterize Alfalfa Cultivars (3<sup>rd</sup> edition)* (<http://naaic.org>).
26. PECE, M. A. y C. A. CANGIANO. 2003. Tasa de acumulación de la biomasa aérea en dos cultivares de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en Balcarce. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 23(1)33-34.
27. POOLE, G., D. PUTNAM and S. ORLOFF. 2003 Considerations in choosing an alfalfa variety. *Proceedings 33<sup>rd</sup> California Alfalfa and Forage Symposium*, pp. 191-200. (<http://alfalfa.ucdavis.edu>).
28. PUTNAM, D. and S. ORLOFF. 2003. Using varieties or cutting schedules to achieve quality hay – What are the tradeoffs. *Proceedings 33<sup>rd</sup> California Alfalfa and Forage Symposium*, pp. 201-214. (<http://alfalfa.ucdavis.edu>).
29. ROSSANIGO, R., M. del C. SPADA y O. A. BRUNO. 1995 Evaluación de cultivares de alfalfa y panorama varietal en la Argentina. *In: H. Hijano, H y A. Navarro (eds.) La alfalfa en la Argentina.* Enc. Agro de Cuyo, Manuales N° 11. San Juan, Argentina, pp. 63-78.
30. SHEAFFER, C. C., G. D. LACEFIELD and V. L. MARBLE. 1988. Cutting schedules and stands. *In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill, Jr. (eds.) Alfalfa and Alfalfa Improvement.* ASA/CSSA/SSSA, Agronomy Monograph 29. Madison, Wisconsin, USA pp. 412-430.
31. SHEAFFER, C. C., D. K. BARNES, D. D. WARNES, W. E. LUESCHEN, H. J. FORD and D. R. SWANSON. 1992. Seedling-year cutting effects on winter survival and its association with fall growth score in alfalfa. *Crop. Sci.* 32: 225-231.
32. SPADA, M. del C. (ed). 1994. Avances en Alfalfa. Ensayos Territoriales. EEA Manfredi-INTA, Año 4 - N° 4, 72 p.
33. SPADA, M. del C. (ed.). 1996. Avances en Alfalfa. Ensayos Territoriales. EEA Manfredi-INTA, Año 6 - N° 6, 62p.
34. SPADA, M. del C. (ed.). 1998. Avances en Alfalfa. Ensayos Territoriales. EEA Manfredi-INTA, Año 8 - N° 8, 78 p.
35. SPADA, M. del C. (ed.). 2000. Avances en Alfalfa. Ensayos Territoriales. EEA Manfredi-INTA, Año 10 - N° 10, 64 p.
36. SPADA, M. del C. (ed.). 2002. Avances en Alfalfa. Ensayos territoriales. EEA Manfredi-INTA, Año 12 - N° 12, 59 p.
37. 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.

38. SPADA, M. del C. (ed.). 2004. Avances en Alfalfa. Ensayos territoriales. EEA Manfredi-INTA, Año 14 - N° 14, 47 p.
39. TEUBER, L. R., K. T. TAGGARD, L. K. GIBBS and S. ORLOFF. 1995. Characterization of a Certified Alfalfa Cultivar: Importance and Evaluation of Fall Dormancy. Proceedings 25<sup>th</sup> California Alfalfa and Forage Symposium (<http://alfalfa.ucdavis.edu>).
40. TEUBER, L. R., K. L. TAGGARD, L. K. GIBBS, M. H. McCASLIN, M. A. PETERSON and D. K. BARNES. 1998 (revised). Fall Dormancy. *In*: C. Fox, R. Berberet, F. Gray, C. Grau, D. Jessen and M. Peterson (eds) Standard Test to Characterize Alfalfa Cultivars (3<sup>rd</sup> edition). Published by North American Alfalfa Improvement Conference. Agronomic Tests, p. A-1.
41. ZANIBONI, C. M. y A. DILLON. 1999. Evaluación bajo pastoreo de cultivares de alfalfa con distinto reposo invernal. Publicación Técnica N° 28. EEA General Villegas-INTA, 20p.
42. VOLENEC, J. J., S. M. CUNNINGHAM, D. M. HAAGENSON, W. K. BERG, B. C. JOERN and D. W. WIERSMA. 2002. Physiological genetics of alfalfa improvement: past failures, future prospects. *Field Crops Research* 75 (2-3): 97-110. (<http://Elsevier Science>).
43. WEISHAAR, M. A., C. BRUMMER and J. J. VOLENEC. 2002. Selecting for Winter Hardiness in Non-Dormant Alfalfa. *In*: Proc. 38<sup>th</sup> NAAIC, Sacramento, CA, July 27-30, p. 76 (<http://naaci.org>).
44. YAN, W., L.A. HUNT, Q. SHENG and Z. SZLAVNICS. 2000 Cultivar Evaluation and Mega-Environment Investigation Based on the GGE Biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.





## La siembra directa de alfalfa en los sistemas ganaderos

*Ing. Agr. Osvaldo Signorile*  
O.T. Ucatcha- U.E.E. Villa María-INTA



## Introducción

Durante los últimos años se ha experimentado en el país un notable incremento de la siembra directa (SD) para la implantación de los cultivos agrícolas, especialmente a partir de la campaña 1992/93. Se estima que el total del área sembrada con esta tecnología supera actualmente los 20 millones de hectáreas (1).

Cuando se maneja correctamente, las principales ventajas que ofrece la SD pueden resumirse en las siguientes: posibilita un mejor manejo del agua de lluvia y disminuyen los procesos de erosión edáfica (5); mejora el balance de carbono en el suelo; disminuyen los requerimientos de energía, y reduce el tiempo de trabajo por hectárea, lo que mejora la eficiencia de los equipos y favorece el manejo de grandes superficies. Todo esto ha permitido no sólo aumentos de rendimiento sino también la incorporación de nuevas áreas de cultivo.

Sin embargo -y al igual que cualquier otra tecnología-, la SD debe implementarse dentro de un sistema sustentable, donde todos los componentes de la producción deben estar en armonía a fin de proveer los necesarios niveles de productividad, pero con estabilidad ambiental y desarrollo social. Lamentablemente, muchos de los nuevos ecosistemas que se incorporaron al proceso productivo no se han manejado correctamente y, en algunos casos, el resultado ha sido el contrario al buscado: degradación del suelo y manifestación de procesos erosivos, desertificación, salinización, contaminación ambiental, disminución de la productividad, pérdida de recursos naturales y aumento de los desequilibrios sociales.

Para que los suelos puedan mejorar su capacidad de almacenar el agua de lluvia, deben contar con la necesaria cobertura vegetal que permita reducir el escurrimiento, mejorar la infiltración, disminuir la evaporación directa y suavizar el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo, protegiendo así la estructura y la estabilidad de los agregados (4, 7). También debe emplearse una correcta rotación de cultivos que provea de suficiente masa de rastrojos y raíces para mejorar la relación C:N (carbono:nitrógeno). Otro factor importante es la correcta aplicación de fertilizantes, a fin de reponer los nutrientes extraídos con cada cosecha (6). Asimismo, se debe evitar la compactación del suelo por el tránsito de la maquinaria sobre suelo muy húmedo o por el excesivo pastoreo directo de los animales. Finalmente, se debe implementar un eficaz control de malezas, plagas y enfermedades.

Independientemente de todo lo anterior, es importante mencionar que el uso continuado de la SD, aun cuando se la utilice correctamente, ocasiona una serie de cambios que impactan directa o indirectamente al agroecosistema. La ausencia de labranzas altera la composición de la comunidad de malezas, favoreciendo a aquellas que se adaptan a suelos no removidos -como el gramón (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) y el sorgo de Alepo (*Sorghum halapense* (L.) Pers.)- y perjudicando a otras que, como el cebollín (*Cyperus rotundus* L.), se favorecen con la remoción del suelo. En ese contexto, la situación evoluciona hasta que se alcanza un nuevo estado de equilibrio que afecta el manejo de los cultivos en SD.

Otro elemento que altera el panorama de malezas en SD lo constituye la rápida adopción de la soja tolerante a glifosato (*soja RR*), que facilita en forma significativa el control de muchas malezas y deja los campos limpios para otros cultivos.

Complementariamente, el desarrollo de híbridos de maíz tolerantes a glifosato significará otra importante contribución al sistema de producción. Sin embargo, también debe tenerse en cuenta que el uso repetido de este herbicida -tanto en los barbechos como durante el ciclo de los cultivos- ejerce una fuerte presión en favor de aquellas malezas que tienen algún grado de tolerancia, favoreciendo su difusión. Una forma eficiente de contrarrestar este perjuicio es implementar una adecuada rotación de cultivos que incluya no sólo el uso de otros herbicidas sino también de otras medidas de control.

La SD también afecta la dinámica de las plagas, particularmente de aquellas que pasan gran parte de su ciclo biológico en el suelo y que son favorecidas por la falta de labranza (2). Entre ellas se puede mencionar a las tucuras (*Dichroplus elongatus*, *D. punctulatus*, *Tropinotus laevipes*, *Elaeochlora viridicata*, *Zoniopoda tarsata*, *Chromacris miles* y *Rhamatocerus pictus*), el gusano blanco (*Diloboderus abderus*), las orugas cortadoras (*Agrotis malefida*, *A. ipsilon*, *Porosagortis gypaetina*, *Peridroma saucia* y *Euxoa bilitura*), grillo subterráneo (*Anurogryllus muticus*), gorgojos (*Pantomorus spp.*, *Naupactus spp.*, *Trychonaupactus spp.*, etc.), hormigas (*Acromyrmex spp* e *Iridomyrmex spp.*), babosas (Limacidae), caracoles (Helicidae), bicho bolita (*Armadillidium vulgare* y *Porcelio laevis*), etc. Esto obliga a la implementación de métodos alternativos de control, que incluyen monitoreos muy precisos y el uso de productos nuevos o tradicionales que se aplican tanto en semillas (terápicas) como en el campo (pulverizaciones). No obstante, estos tratamientos no sólo elevan los costos de producción sino que -en algunos casos- pueden resultar no totalmente efectivos. En otras situaciones, se favorece la difusión de peludos y mulitas que, además de ser difíciles de controlar, pueden complicar notablemente el paso de la maquinaria por el tamaño y la cantidad de sus cuevas.

## Siembra directa en planteos ganaderos

El empleo generalizado y exitoso de la SD en agricultura hizo que se la haya introducido también en planteos agrícola-ganaderos y ganaderos intensivos, como los tambos de muchas cuencas lecheras, donde el pastoreo directo de alta intensidad de verdeos y pasturas es un componente esencial en la alimentación de los rodeos (8, 9).

Sin embargo, cuando se emplea la SD en producciones tamberas, se debe tener presente que no siempre se pueden satisfacer todos los requisitos necesarios para lograr los buenos resultados que el sistema puede aportar. Entre ellos, los más difíciles de cumplir son los referidos a la cantidad y distribución uniforme de cobertura vegetal y a la ausencia de pisoteo excesivo de los suelos.

En los planteos ganaderos intensivos, que generalmente utilizan altas cargas instantáneas, la provisión de un adecuado volumen de biomasa aérea como cobertura vegetal no siempre es fácil de lograr; no obstante, las restantes partes de las plantas (raíces, estolones, rizomas, etc.) son capaces de proporcionar aportes importantes de residuos que, al descomponerse, contribuyen a mejorar la condición general de los suelos, particularmente la porosidad, el tenor de materia orgánica y la estructura. En este sentido, los distintos sistemas radiculares de las diversas especies que componen las pasturas desempeñan un valioso papel en este proceso. También la micro y la mesofauna que se desarrollan en los suelos de pasturas -con su aporte de túneles, cuevas, galerías, sustancias orgánicas, etc.- contribuyen a la recuperación de la porosidad y a la incorporación de materia orgánica.



Los procesos de descomposición de los residuos en el suelo dependen de su composición y de las condiciones ambientales y, si bien ocurren durante todo el ciclo vegetativo, se intensifican durante los períodos de barbecho. En los sistemas agrícola-ganaderos que emplean rotaciones largas, donde para cada lote el período entre pasturas supone la sucesión de varios cultivos anuales tanto agrícolas como forrajeros, la implementación de la SD resulta más fácil. En esas condiciones, puede regularse mejor no sólo el manejo del pastoreo sino también la cantidad de residuos en los lotes y la extensión de los períodos de barbecho. Por el contrario, en los sistemas ganaderos intensivos, donde el período entre pasturas es de 2 - 3 años como máximo y los manejos de las rotaciones son más ajustadas, el uso correcto de la SD requiere mayor precisión en la ejecución de las tareas.

### ***Barbecho y cobertura vegetal***

Además de disminuir la cantidad y perturbar la distribución de la cobertura vegetal, el pastoreo directo -especialmente si no es bien manejado- produce la compactación superficial de los suelos, lo que disminuye la velocidad de infiltración y la capacidad de reserva de humedad. Esta conjunción de factores puede desembocar en una menor protección contra la erosión. La adecuada planificación de la secuencia de cultivos, que asigne el uso de los lotes sobre la base de un esquema muy preciso de rotación y que también asegure la apropiada alimentación de los animales, contribuye a atenuar esos problemas (10). Por el contrario, si se demora el inicio de los barbechos por una planificación o una ejecución incorrecta, su efecto corrector sobre los perjuicios que puede ocasionar el pastoreo puede verse seriamente debilitados.

El párrafo anterior indicaría que la SD aparece como poco recomendable para aquellos establecimientos donde se emplea el pastoreo directo con vacunos. Sin embargo, la realidad muestra que muchos productores, utilizando bien la tecnología disponible y estimulados por los éxitos de los planteos agrícolas, fueron capaces de implementarla con éxito en planteos ganaderos o ganadero-agrícolas. Aun en sistemas muy exigentes, como la producción intensiva de carne o leche, hay muchos productores que utilizan exclusivamente la SD para la implantación tanto de pasturas y verdes (pastoreo y/o heno) como para cultivos de maíz y sorgo granífero (grano o silaje). Naturalmente, la SD, en esas condiciones, supone mayores desafíos que los planteados para cultivos agrícolas, siendo el más importante la necesidad de colocar las semillas de las pasturas a la profundidad y la humedad adecuadas, en un suelo con algún grado de compactación superficial y con una cobertura de residuos vegetales a veces no tan densa como sería deseable.

Las sembradoras disponibles son muy eficientes cuando se trata de SD de semillas relativamente grandes (soja, maíz, sorgo, verdes, trigo y otras especies) o sembradas a altas densidades (mijo y moha) (3). Pero cuando se trata de sembrar alfalfa u otras forrajeras de semillas pequeñas, las experiencias locales indican resultados variables, dependiendo -entre otras cosas- de la cantidad y la uniformidad de la cobertura de residuos que tenga el suelo. En ocasiones, la distribución de los residuos es más importante que la cantidad, dado que si la cobertura no es uniforme se hace muy difícil regular convenientemente los sistemas plantadores de las sembradoras, cualquiera que sea el sistema que utilicen. Si los residuos son abundantes, sean provenientes de cultivos o de malezas, la implantación de la alfalfa se hace más difícil, dado que si se carece de precisión en la siembra, muchas semillas serán ubicadas a excesiva profundidad. Esta

última situación, al demandar de las semillas un gasto adicional de energía para su emergencia, no sólo atrasará el proceso sino que además originará plántulas más débiles, que a su vez deberán atravesar coberturas densas, más húmedas, más frías y con probable mayor incidencia de plagas y enfermedades. Los peores resultados para la implantación de la alfalfa en SD se obtuvieron sobre importantes infestaciones de gramón, tanto en manchones como en cobertura total, o sobre rastrojos de cosecha mal distribuidos.

### **Rotaciones y control de malezas**

Las pasturas de alfalfa, sea pura o consociada con otras forrajeras, constituyen el componente básico de la alimentación de los bovinos. En tambos, por ejemplo, al menos el 50% de los alimentos que consumen las vacas provienen de la alfalfa. Una pastura invadida por malezas no podrá satisfacer la necesaria producción de pasto en la cantidad y la calidad que demandan esos sistemas ganaderos. En ese contexto, el período de 2-3 años que en la rotación de un determinado lote va desde la salida de una pastura hasta la implantación de otra nueva, debe ser usado para -a través de un efectivo control de malezas- ponerlo en óptimas condiciones para la implantación del nuevo alfalfar.

Atendiendo a que las pasturas base alfalfa terminan siempre su ciclo productivo con una alta infestación de malezas -particularmente gramón-, la manera más conveniente de iniciar la sucesión de cultivos posteriores en aquellos planteos ganaderos o mixtos con SD es la implantación de verdeos de invierno o de soja para cosecha, reservas o pastoreo directo. Seguidamente, se recomienda la inclusión de sorgo o maíz (para silaje o grano) y verdeos hasta completar el ciclo de rotaciones para volver a implantar pasturas base alfalfa. Esta secuencia se puede completar con la inclusión de otros cultivos, como girasol. Además de los controles de malezas necesarios dentro del ciclo de cada cultivo, es fundamental la realización de barbechos químicos previos y posteriores a cada uno, de forma de limpiar los lotes destinados a la implantación de la próxima pastura. La inclusión en las rotaciones ganaderas de cultivos de soja tolerante a glifosato es muy recomendable, ya que facilita el control de muchas malezas, especialmente de algunas perennes como el gramón.

Si en la sucesión de cultivos la soja es el antecesor inmediato de la alfalfa o verdeos de invierno, se recomiendan las variedades de ciclo (grupos III o IV), que permiten las siembras en el otoño temprano. En cambio, si la soja antecede a un barbecho de invierno para la siembra primaveral de maíz, pueden utilizarse variedades de ciclos más largos (grupos VI o VII). En otros casos, en lugar de la soja se puede incluir al girasol, que es también un buen antecesor para la alfalfa. Resumiendo todo lo anterior, se ofrecen a continuación algunos ejemplos de las rotaciones más difundidas en la zona centro-sur de Córdoba, sin (a-b) y con incorporación de soja (c-f):

■ a) AA BQ VI BQ MZ BQ VI BQ VV BQ AA  
 \ año 1 \ año 2 \ año 3

■ b) AA BQ VI BQ MZ BQ VI BQ Mz BQ VI BQ VV BQ AA  
 \ año 1 \ año 2 \ año 3 \

■ c) AA BQ VI BQ Sa<sub>III-IV</sub> BQ VI BQ MZsi BQ AA  
 \ año 1 \ año 2 \ año 3

■ d) AA BQ VI BQ Sa<sub>VI-VII</sub> BQ MZsi BQ AA  
 \ año 1 \ año 2 \ año 3

■ e) AA BQ Sa<sub>III-IV</sub> BQ VI BQ MZ BQ AA  
 \ año 1 \ año 2 \ año 3

■ f) AA BQ Sa<sub>VI-VII</sub> BQ MZ BQ Sa<sub>VI-VII</sub> BQ MZsi BQ AA  
 \ año 1 \ año 2 \ año 3

**Referencias:** AA = alfalfa; BQ = barbecho químico; VI = verdeo de invierno; VV = verdeo de verano; MZ = maíz para grano; MZsi = maíz para silo; Sa<sub>III-IV</sub> = soja de grupos III-IV; y Sa<sub>VI-VII</sub> = soja de grupos VI-VII .

En estas rotaciones, el balance de carbono -que es decisivo para la salud del suelo- es normalmente negativo. Aun a riesgo de ser reiterativos, conviene recordar que los residuos vegetales que quedan en el suelo después del pastoreo directo o de la elaboración de heno o silaje son muy escasos; por consiguiente, debe prestarse mucha atención también a los niveles de materia orgánica de los lotes dentro del sistema. Por otro lado, y dado que las rotaciones sugeridas son muy exigentes en nutrientes disponibles, deben aplicarse los fertilizantes que sean necesarios para obtener buena productividad y mantener el nivel nutritivo de los suelos.

## Siembra Directa de alfalfa

De todos los cultivos que participan de la rotación ganadera tradicional, la alfalfa es la que exige más precauciones para lograr una pastura productiva y persistente. Como ya se indicara, la alfalfa se implanta muy bien en SD si se hace sobre lotes bien barbechados, limpios y con coberturas no tan densas. A continuación se dará una serie de recomendaciones prácticas, fruto de las experiencias recogidas a lo largo de varios años de trabajo en el centro-sur de Córdoba.

### *Cultivos antecesores*

Los mejores resultados se obtuvieron con mijo y moha para heno como antecesores, aunque también se pueden recomendar los rastrojos de maíz y sorgo de cultivos que fueron ensilados, los barbechos largos de verdeos del invierno anterior, y los rastrojos de soja de grupos de maduración III o IV (Figura 1) (ver rotaciones propuestas en la sección anterior). El objetivo es liberar los lotes en el mes de marzo, época óptima para la siembra alfalfa. En los cultivos para cosecha de granos se debe distribuir muy bien la paja y la granza que descarga la cosechadora para facilitar la posterior regulación de los sistemas plantadores de las sembradoras. Los cultivos de maíz y sorgo para cosecha de granos dejan rastrojos demasiado abundantes, que imposibilitan la ubicación correcta de las semillas de alfalfa en el suelo húmedo; como alternativa, es interesante mencionar que se han logrado éxitos con la siembra aérea de alfalfa previa a la cosecha. Cuando la recolección se hace temprano, y los rastrojos se pastorean con alta carga y por períodos cortos, se pueden mejorar notablemente las condiciones de implantación de la alfalfa en SD.

Bajo ciertas circunstancias, y tal como fuera señalado precedentemente, la soja también puede ser un buen antecesor de alfalfa. Si se usa para la producción de heno o bajo

pastoreo, el lote queda usualmente en buenas condiciones para la siembra; si el lote se destinó a la producción de grano, los rastrojos deben distribuirse muy uniformemente y la semilla de alfalfa debe tratarse con productos curasemillas para prevenir el daño de enfermedades y plagas comunes a ambos cultivos. Es muy importante no incluir en la secuencia de cultivos una soja de segunda y/o de grupo de maduración V o más largo, porque libera el lote muy tardíamente, retardando la emergencia de la alfalfa y exponiéndola a un mayor ataque de enfermedades si el año es húmedo o a un mayor daño de heladas si el año es seco. Entre algunos problemas sanitarios que podrían afectar a ambos cultivos pueden mencionarse a *Sclerotinia spp.*, *Fusarium spp.*, *Phomopsis spp.*, *Sclerotium rolfsii* Sacc., *Pythium spp.*, *Rhizoctonia spp.*, virus del mosaico de la alfalfa y nematodos (*Meloidogyne spp.* y *Pratylenchus spp.*).

## Manejo del pastoreo y control de malezas

El manejo del pastoreo de aquellos cultivos forrajeros que formen parte de la rotación debe hacerse con el suficiente cuidado como para evitar una excesiva compactación

de los lotes. En ese sentido, la carga animal deberá ajustarse a la disponibilidad de forraje y a una adecuada productividad de carne o leche por unidad de superficie. También deberá ponerse especial atención en tratar de evitar el pastoreo cuando las condiciones de humedad de los lotes sean excesivamente altas, porque esto produce compactación superficial con consecuencias variables de acuerdo con los distintos tipos de suelo.



**FIGURA 1** – Excelente implantación de alfalfa sobre rastrojo de soja grupo IV.

tanto durante el ciclo de los cultivos anuales como de las pasturas, y en particular en los momentos de barbecho entre uno y otro. La elección de los herbicidas a aplicar se deberá hacer teniendo en cuenta no sólo su espectro de control y modalidades de uso sino también su ausencia de fitotoxicidad residual sobre la alfalfa. Para el control de las malezas de la alfalfa se deben utilizar los mismos herbicidas que se recomiendan para los sistemas de siembra tradicionales (ver Capítulo 10). La eliminación de las especies indeseables es también fundamental para propiciar que el agua y los nutrientes de los lotes sean aprovechados solamente por las plantas que interesan a la producción.

## Características de la siembra

Si bien la densidad de semilla en SD de alfalfa no debiera alterarse respecto de lo que normalmente se emplea en cada zona en el sistema tradicional, una práctica usual es aumentar entre el 10 y el 50% la cantidad de semilla, a efectos de contrarrestar cual-



quier deficiencia de implantación que pudiera producirse. No obstante, si la implementación de la SD se ha hecho correctamente, no habría necesidad de tomar esta precaución. Si se utiliza semilla de alfalfa peleteada, al igual que en el sistema tradicional, se recomienda ajustar la densidad real de semillas sembradas. Respecto de la distancia entre líneas, la más usual es de 17,5 cm, pero también se han logrado buenas pasturas con distanciamientos de 21 y 23 cm.

Es conveniente el tratamiento de la semilla con productos terapicos (curasemillas), sobre la base de insecticidas y funguicidas, que protejan las plántulas del posible ataque de muchas plagas y enfermedades que se ven favorecidas por la ausencia de labranza. También es recomendable la inoculación de las semillas con rizobios específicos (*Synorhizobium meliloti*) y de buena calidad, capaces de formar abundantes nódulos de buen nivel de fijación biológica del nitrógeno, importante no sólo para la alfalfa sino también para todo el sistema productivo. Si las semillas se adquieren preinoculadas y peleteadas, es aconsejable comprobar la calidad y la composición del tratamiento.

Cuando se siembre alfalfa en mezcla con gramíneas, se recomienda no incluir en la misma línea a todas las especies, sino sembrarlas en líneas alternadas o implantar la alfalfa en líneas y las gramíneas al voleo. Esto es especialmente necesario si las gramíneas se incluyen como cultivos protectores o si trata de verdeos de rápido desarrollo inicial y de alta densidad de siembra, dado que pueden ejercer una fuerte competencia a las plántulas de alfalfa. Posteriormente, esos cultivos acompañantes o protectores deberán pastorearse con mucho cuidado, tratando de armonizar la disminución de la competencia sobre la alfalfa con el mínimo de daño posible (pisoteo y/o arrancado) a las plantas de alfalfa en establecimiento.

## **Sembradoras**

Las distintas zonas ecológicas del país donde se cultiva alfalfa presentan particularidades de suelo, clima y manejo que hacen imposible definir la sembradora ideal para todas las situaciones. Seguidamente, se resumirán algunas de las características importantes del equipamiento a tener en cuenta para la SD de alfalfa. Como primera recomendación debe mencionarse que los equipos deben estar provistos del cajón sembrador de pasturas conocido como «alfalfero», a fin de asegurar la correcta distribución - en cantidad y uniformidad- de las pequeñas semillas de alfalfa.

Otro aspecto importante de los equipos sembradores lo constituyen los sistemas plantadores, que deben cortar los rastrojos presentes y remover la banda de suelo donde se depositará la semilla. En ese contexto, los plantadores conocidos como de monodisco con zapata y de disco doble con cuchillas abresurco, que usualmente se recomiendan para grano fino, se adaptan perfectamente para la SD de alfalfa. El primer tipo, cuyo monodisco con zapata se acompaña de una rueda limitadora de profundidad, tiene buena capacidad de penetración y hace un surco con una mínima remoción de suelo, que es donde la zapata coloca la semilla. En el segundo sistema (disco doble), las cuchillas abresurco constituyen los elementos esenciales y pueden ser de dos formas básicas: de hoja plana (lisas) o de hoja ondulada. Las lisas cortan bien el rastrojo y hacen un corte neto en el suelo, con muy poca remoción de tierra. Entre las cuchillas de hoja ondulada pueden encontrarse en el mercado diversos modelos que difieren en la forma, tipo, profundidad y cantidad de ondulaciones. Las de uso más común son las conocidas como tipo «turbo», que tienen 20 ondulaciones tangenciales al eje de giro, con las cuales



cortan el rastrojo y trabajan una pequeña franja regulable de aproximadamente 2-3 cm de ancho y 5 cm de profundidad (2-3 cm más profunda que la franja que abre el surcador o plantador). La banda de suelo removido que origina este tipo de cuchilla crea un muy buen ambiente para que los surcadores, acompañados de ruedas limitadoras de profundidad, depositen la semilla de alfalfa a la profundidad adecuada para que tenga las condiciones necesarias de germinación y desarrollo de plántula.

Un tercer componente de importancia en los equipos sembradores son las ruedas tapadoras, cuya función principal es cubrir cuidadosamente las semillas que han sido depositadas en la banda de siembra. Estas ruedas, que pueden ser lisas o dentadas y estar hechas de metal o de caucho, también pueden tener la función de regular la profundidad de siembra. Esto último adquiere una trascendental importancia, dado que la semilla de alfalfa no debe depositarse a más de 2,5 cm de profundidad, ni tampoco debe quedar expuesta en la superficie del suelo. Atendiendo a que no siempre es sencillo regular la profundidad de siembra entre 1,5 y 2,5 cm, es preferible que queden algunas semillas destapadas antes de colocarlas a una excesiva profundidad, lo que demora o impide la emergencia, genera plántulas débiles y aumenta los riesgos de daños por plagas y enfermedades. Tampoco es recomendable, desde ningún punto de vista, la siembra de alfalfa al voleo en SD.

Es muy importante tener presente que una buena regulación de la maquinaria puede disimular limitaciones técnicas del equipo sembrador; por el contrario, la mala regulación de un equipo, por más moderno y sofisticado que sea, puede hacer fracasar la implantación de la alfalfa en SD.

### ***Fertilización y compactación de suelo***

Como ya fuera señalado, no debe descuidarse la reposición de nutrientes que se extraen a través de la sucesión de cultivos en la rotación. La alfalfa es una especie demandante en fertilidad química de los suelos, particularmente fósforo, calcio, potasio, azufre y nitrógeno. Este último elemento lo consigue por medio de la fijación simbiótica, pero los restantes debe ser provistos por el suelo y repuestos solamente por la fertilización. La mayoría de las sembradoras modernas para SD cuenta con muy buenos sistemas de aplicación de fertilizantes, con particularidades que deberán analizarse en cada caso puntual.

Es importante mencionar que si bien es tradicional atribuirle a la producción ganadera la característica de ser agronómica y ambientalmente sustentable, esto no es tan cierto en todos los casos. Los actuales sistemas ganaderos intensivos, que exigen altas productividades, de ninguna manera son sustentables por sí solos. Por lo común, en los lotes dedicados al pastoreo intensivo o a la producción de heno o silaje, el balance de nutrientes es negativo porque el sistema deja pocos residuos y extrae más de lo que repone. En consecuencia, una correcta rotación de cultivos y un adecuado nivel de fertilización son fundamentales para la conservación y la productividad del sistema, no sólo en SD (Figuras 2 y 3) sino también con labranza tradicional o convencional.

Otro aspecto importante en los sistemas ganaderos, como ya se ha mencionado, es la compactación de los suelos. Comúnmente, en la zona centro-sur de Córdoba, que posee suelos francos o franco-arenosos, la compactación superficial no ha condicionado con seriedad la implantación de cultivos en SD. De todos modos, si la compactación se con-

virtiera en un problema, la realización de barbechos largos aparece como una solución efectiva. Barbechos de 3 meses para las siembras de otoño, y desde el otoño en adelante para las siembras de primavera, pueden acumular suficiente humedad, permitir el control de malezas y atenuar considerablemente las compactaciones superficiales de los suelos.



**FIGURA 2** – Cultivo de alfalfa en SD durante el año de implantación en un lote con un adecuado sistema de rotaciones y un efectivo control de malezas.



**FIGURA 3** – Cultivo de alfalfa en SD durante el segundo año de producción. Nótese las adecuadas prácticas de control de malezas y de fertilización.

## Consideraciones finales

La SD de pasturas no sólo es posible sino conveniente y recomendable para un sistema de producción sustentable. Esta tecnología debe acompañarse de un adecuado plan de rotación de cultivos, un efectivo control de malezas y una racional aplicación de fertilizantes. Además de esto, en el caso concreto de la SD de alfalfa, se debe prestar especial atención a los cultivos antecesores, a la cantidad y uniformidad de los rastrojos presentes y a la profundidad de siembra. Otro aspecto fundamental es la realización de barbechos químicos lo suficientemente prolongados para permitir la acumulación de humedad, la eliminación de malezas (en particular el gramón) y la atenuación de los problemas de compactación que puede originar el pastoreo directo. Los mejores resultados en SD de alfalfa se obtienen con una eficiente planificación, teniendo en cuenta todos los factores anteriormente mencionados.

## Bibliografía

- 1- AAPRESID. 2005. <http://www.aapresid.org.ar>. Fecha de consulta: 3/8/2005.
- 2- ARAGÓN J. 2004. Manejo integrado de plagas relacionadas con la siembra directa. INTA Marcos Juárez. Hoja informativa, 3 p.
- 3- BRAGACHINI, M., A. VON MARTINI y A. MÉNDEZ. 2003. Siembra directa con abundante rastrojo en superficie – Equipamiento de la sembradora. Proyecto Agricultura de Precisión. INTA Manfredi. Información para la Prensa N° 8, 5 p.
- 4- FOGANTE, R. 1999. La siembra directa en la Argentina: perspectivas y metas a alcanza. In: 7° Congreso Nacional de AAPRESID, Mar del Plata, Argentina, Agosto 18-20. Tomo II, pp. 143-154.
- 5- FOGANTE, R., D. CANOVA, M. BRAGACHINI, R- BONGIOVANI, A. MALASPINA y N. MILATICH. 1994. El cultivo de soja en siembra directa. AAPRESID. Ed. Grafos, Rosario, Argentina, 58 p.

- 6- MARTELLOTTI, E., H. SALAS y E. LOVERA. 2001. Sustentabilidad de los sistemas agrícolas en la provincia de Córdoba-Factores que la condicionan. EEA Manfredi, INTA, 9 p.
- 7- ROMAGNOLI, J.C. 1996. Introducción a la siembra directa. AAPRESID. Monte Buey, Córdoba, 7 p.
- 8- SIGNORILE, O. 1999. Siembra directa en tambos. Agro Mercado. Cuadernillo 31 (Lechero): 46-47.
- 9- SIGNORILE, O. y M. LJUBICH. 1993. Siembra directa en alfalfa. In: IV Jornadas Nacionales de Alfalfa y I Simposio Nacional de Alfalfa. Resúmenes. Villa María, Córdoba, Octubre 20-22, pp. 11-13.
- 10-TOMMASONE, F. 1997. Rejuvenecimiento y siembra directa de praderas y verdes de invierno-Factores a tener en cuenta. Auspiciante: Monsanto Argentina S.A.I.C, 19 p.

## Manejo integrado de plagas de la alfalfa

*Ing. Agr. (MSc) Jorge Aragón*  
EEA Marcos Juárez-INTA

*Ing. Agr. José Imwinkelried*  
EEA Manfredi-INTA.





## Introducción

La alfalfa destinada a la producción de forraje o semilla forma un microclima particular que, por la densidad de plantas y la naturaleza perenne del cultivo, constituye un ambiente donde proliferan muchas especies de insectos y ácaros, entre los cuales es posible encontrar algunas que son plagas importantes del cultivo. Además, por su extensa distribución territorial, el cultivo de alfalfa permite que las plagas se sucedan casi ininterrumpidamente y que, en el caso de insectos migratorios, exista una adecuada continuidad geográfica para su desarrollo estacional (29).

En un alfalar también existe un gran número de organismos benéficos que regulan o controlan a las plagas primarias y secundarias. Por esta razón, cualquier medida de control que provoque un desequilibrio en la pastura repercutirá en casi todos los organismos de la comunidad que, en forma directa o indirecta, se encuentran biológicamente encadenados (29). Las aplicaciones masivas de insecticidas constituyen el principal elemento perturbador del ecosistema alfalfa, y su acción provoca una drástica reducción de importantes enemigos naturales. Este solo efecto ya es negativo de por sí, pero lo es más aún cuando se considera que éstos tardan mucho más en recuperarse que las plagas (36).

En la planificación del manejo de plagas de un alfalar es necesario recurrir al uso de insecticidas solamente cuando otras medidas de control no pueden aplicarse (32, 45, 51). El uso de productos químicos constituye un riesgo ambiental, dado que puede afectar el equilibrio biológico y provocar la transformación en plagas primarias de especies normalmente consideradas como plagas secundarias. A esto debe agregarse la posibilidad de producir residuos tóxicos no aceptables en los productos animales que, una vez fijados en la carne y/o en la materia grasa, pueden ser detectados en los análisis de control que se practican en los mercados consumidores (29). Los problemas causados por los insecticidas se agravan cuando se utilizan productos de amplio espectro en dosis altas; por ello, cuando su uso sea inevitable, deben preferirse aquellos productos que posean la mayor especificidad posible sobre la plaga a controlar (29, 63, 67).

En Argentina, del 80 al 90% del daño de insectos provocado al cultivo de alfalfa se debe a cuatro grupos de plagas: orugas defoliadoras, orugas cortadoras, pulgones y gorgojos. El resto del espectro se completa con el complejo de chinches -para aquellos cultivos destinados a la producción de semilla- y algunas plagas secundarias o esporádicas, como trips, tucuras, orugas enrolladoras y arañuelas (29, 36).

Por otro lado, las pasturas de alfalfa también dan alimento y/o refugio a una gran diversidad de polinizadores y enemigos naturales (parásitos, predadores) que actúan como mecanismo regulador de insectos dañinos no sólo de la alfalfa sino también de cultivos vecinos (55, 63). En consecuencia, y como ya fuera señalado, cuando se efectúen tareas de protección al cultivo deben tomarse todas las precauciones para evitar aplicaciones innecesarias de plaguicidas de amplio espectro de acción. Los umbrales de daño económico estimados en cada caso constituyen un punto de referencia para iniciar los tratamientos de control y se convierten en un aspecto fundamental del manejo integrado de las plagas (66, 67, 68). Una evaluación cuidadosa de los niveles de ataque durante las distintas etapas del cultivo permitirá un control oportuno, evitando el uso excesivo de insecticidas (9).

Las aplicaciones innecesarias, efectuadas ante la mera presencia de la plaga, no sólo gravitan en el aspecto económico sino que pueden tener efectos perjudiciales sobre los insectos benéficos (32, 51); de esta manera, puede favorecerse una mayor agresividad

de los insectos dañinos o la aparición de nuevas plagas, lo que a su vez origina la necesidad de aumentar el número de tratamientos. Por otra parte, el uso indiscriminado e irracional de insecticidas aumenta el riesgo de causar intoxicaciones a los seres humanos, a los animales domésticos y a la fauna silvestre (6, 41, 55).

Con el objetivo de proveer información para el correcto manejo de las plagas de la alfalfa, se desarrollarán a continuación los aspectos de la biología, la existencia de enemigos naturales, los umbrales de daño económico y las técnicas de control de los cuatro grupos principales de insectos que atacan al cultivo. Por último, se ofrecerá un somero panorama de algunas plagas que han cobrado importancia más reciente con el uso de la siembra directa de alfalfa.

## Orugas defoliadoras

Varias especies de orugas o larvas de lepidópteros consumen las hojas de la alfalfa, que es la parte del cultivo de mayor valor nutritivo. Entre éstas se pueden citar a la «oruga de la alfalfa», *Colias lesbia* (Fab.); la «oruga militar tardía» (también denominada «cogollera» cuando ataca al maíz), *Spodoptera frugiperda* (Smith); la «oruga medidora», *Rachiplusia nu* (Guen.), y la «oruga de las leguminosas», *Anticarsia gemmatalis* (Hubner).

Dentro de estas orugas defoliadoras, la oruga de la alfalfa es la considerada como «plaga clave» porque todos los años -si no se la controla- produce ataques en los meses de verano que pueden provocar daños económicos importantes, con la pérdida de uno o dos cortes de forraje en áreas que incluyen el norte de Buenos Aires, La Pampa, Entre Ríos, Córdoba y Santa Fe (29, 36). La oruga militar tardía es una especie de origen subtropical que, si bien puede consumir alfalfa, prefiere alimentarse con gramíneas, tanto silvestres como cultivadas; en años de ataques intensos, que pueden ocurrir en forma esporádica, llega a alcanzar densidades de hasta 200-300 larvas m<sup>-2</sup>. La oruga medidora, plaga de importancia en soja y girasol, también se desarrolla en alfalfa y puede alcanzar niveles de daño entre diciembre y febrero de cada año. La oruga de las leguminosas, que causa importantes daños en soja en las regiones del NOA y NEA y en la zona Norte de la Región Centro, puede también en algunas campañas invadir los cultivos de alfalfa hacia fines del verano y durante el otoño.

En función de su importancia económica y de la amplitud de su difusión se describirán a continuación algunos aspectos bioecológicos y de manejo integrado de la oruga de la alfalfa.

### Oruga de la alfalfa (*Colias lesbia* Fab.)

#### Descripción, biología y hábitos

Las formas adultas se reconocen por ser mariposas de color amarillo o gris, con una serie de manchas negras en el borde de las alas anteriores. En época de ataque se movilizan en gran número buscando cultivos con brotes jóvenes donde depositan sus huevos. Cada hembra puede oviponer unos 200 a 300 huevos, los que colocan en forma aislada en la capa superior de las hojas. Las larvas u orugas se alimentan del follaje durante su desarrollo, que está constituido por 5 estadios larvales. Si las condiciones de temperatura son favorables, las larvas crecen con rapidez y pueden completar su desarrollo en sólo 2 a 3 semanas.

Las orugas tienen unos 30-35 mm de longitud máxima y son de color verde oscuro aterciopelado, con una banda blanca en los flancos. Una vez completado su desarrollo las larvas pasan al estado de pupa o crisálida, la que permanece sujeta por un hilo de seda a un tallo. Se han desarrollado técnicas de muestreo para estimar la población de pupas en un cultivo de alfalfa (29). Este estado se completa en 5 a 7 días, luego de los cuales emergen las mariposas adultas (61).

En la Región Pampeana Central la oruga de la alfalfa puede completar 7 a 8 generaciones por año, pero sólo 2 a 3 alcanzan una alta población y provocan daños severos a los cultivos de alfalfa, generalmente desde diciembre hasta marzo (4, 13, 52). En otoños secos, los ataques pueden prolongarse hasta abril, dañando las plántulas de alfalfa en implantación.

### Enemigos naturales

La oruga de la alfalfa está regulada por una serie de parásitos, predadores y patógenos (Cuadro 1). Los huevos pueden ser destruidos por la acción de predadores, como algunos coccinélidos y hemípteros (especialmente nábidos y geocóridos). Un ácaro predator, *Balaustium sp.* (Erythraeidae), también puede destruir huevos de *C. lesbia* (14). En la zona central de la Argentina, el microhimenóptero *Trichogramma spp.*, que parasita huevos, puede ser de gran eficiencia en el control de la oruga de la alfalfa (3). A principios del ciclo de la plaga, el impacto inicial de *Trichogramma* en el control de huevos de *C. lesbia* suele ser bajo, pero luego -en función de su gran adaptación y velocidad de desarrollo- puede llegar a reducir las poblaciones de las últimas generaciones (fines del verano u otoño) con una eficiencia del 70 al 90%.

Los estados larvales son parasitados por la avispa *Cotesia lesbiae* (Braconidae) y por el díptero *Euphorocea haywardii*. También son destruidas por un complejo de predadores, que incluye no sólo a las especies citadas, sino también a larvas y adultos de carábidos, arácnidos, tetigónidos, avispas predatoras y numerosas aves insectívoras. En veranos frescos y húmedos, las orugas son además afectadas en gran número por una enfermedad producida por un virus poliédrico (*Borrelina campeolis*) (36, 60, 62). La avispa *Cotesia* puede tener gran importancia en el control de las primeras generaciones de *C. lesbia*, parasitando del 50 al 70% de larvas de 3<sup>er</sup> estadio entre noviembre y diciembre; durante el verano, por el contrario, la acción de hiperparásitos (24, 72), la falta de tiempo para completar su desarrollo por los cortes o el pastoreo efectuado cada 30-35 días, y la gran velocidad de desarrollo de la plaga, reducen la eficiencia de *Cotesia lesbiae* (7).

Estudios referidos a tablas de vida (3, 6) han puesto en evidencia el significativo impacto que los enemigos naturales tienen sobre el control de la oruga de la alfalfa, a punto tal de concluir que si bien esta plaga tiene el potencial de desarrollar 7-8 generaciones año<sup>-1</sup> en las latitudes del centro de Córdoba y Santa Fe, sólo ocasiona daños significativos durante 1 ó 2 generaciones (4, 6, 7, 62).

En California, la oruga de la alfalfa, *Colias euryhteme*, se ve también muy afectada por un similar complejo de parásitos y patógenos (1, 8, 65). Se estima que la cría de parásitos de huevos, así como el uso de virus específicos (65), podrían incrementar en el futuro el control biológico de *C. lesbia*.

### Umbral de daño. Sistema de muestreo

Sobre la base de estudios sobre evaluación de daños y dinámica de poblaciones, se ha desarrollado un sistema de alarma para el manejo de la oruga de alfalfa que permite

**CUADRO 1** – Listado parcial de enemigos naturales de la oruga de la alfalfa (*Colias lesbia* Fab).

Tipo de Enemigo natural	Especie	Observaciones
Avispitas parásitas de huevos	<i>Trichogramma sp</i> (Trichogrammatidae)	Mayor efectividad en los meses de febrero y marzo, época en que pueden parasitar el - 70 90 % de los huevos de plaga.
Ácaros predadores de huevos	<i>Balaustium sp.</i> (Erythraeidae)	Altas temperaturas y sequía favorecen su acción.
Coccinélidos predadores de huevos y larvas chicas	<i>Eriopis connexa</i> (Coccinellidae) <i>Hippodamia convergens</i> <i>Coccinella an coralis</i> <i>Coleomegilla sp.</i>	Los coccinélidos o “vaquitas” se incrementan en función de los ataques de pulgones, ejerciendo un gran control sobre éstos y otros insectos -plaga.
Otros predadores	<i>Nabis spp.</i> (Nabidae ) <i>Geocoris spp.</i> (Lygaeidae) <i>Chrysopa spp.</i> (Chrysopidae) <i>Calosoma sp.</i> (Carabidae) Tetigonidae Arácnidos Aves isectívoras	Favorecen también el control de plagas en soja, maíz, girasol y trigo.
Avispas parásitas de larvas	<i>Cotesia lesbiae</i> (Braconidae) (= <i>Apanteles</i> )	Oviponen en larvas pequeñas de <i>Cdías</i> . Es común que 10 o más larvas de la avispa se desarrollen en el cuerpo de la oruga parasitada, que muere en el 3º estadio.
Avispas hiperparásitas de <i>Cotesia lesbia</i>	<i>Tetrastichus sp.</i> (Encyrtidae) <i>Spilochalsis sp.</i> (Chalcididae)	Ambas especies de avispas parasitan larvas de <i>Cotesia</i> , actuando como hiperparásitos y disminuyendo su acción benéfica.
Moscas parásitas de larvas	<i>Euphorocera sp.</i> (Tachinidae) <i>Voria sp</i> (Tachinidae)	Ambas especies oviponen en larvas de <i>C. lesbia</i> , donde se desarrollan y causan su muerte.
Patógenos.	<i>Borrelina campeolis</i> (Virus VPN)  <i>Bacillus thuringiensis</i>	Ataca a larvas medianas y grandes en condiciones de alta humedad. Es común en las últimas generaciones de <i>C. lesbia</i>  Se dispone de varias formulaciones comerciales de este patógeno, que tiene una gran eficiencia de control, incluso en condiciones de gran intensidad de ataque.

contar con el tiempo necesario para efectivizar medidas de control cuando las poblaciones de la plaga se incrementan a niveles que amenazan con defoliar el cultivo. La determinación del nivel de ataque se hace por medio del recuento de las orugas capturadas utilizando una red de arrastre en una serie de muestreos efectuados en forma secuencial (30). Este sistema posibilita que, de acuerdo con la detección de infestaciones muy altas o muy bajas, se pueda llegar rápidamente a una decisión sobre efectuar o no un tratamiento de control. Por el contrario, infestaciones de nivel intermedio requieren de mayor número de golpes de red para alcanzar una decisión (28, 30). La implementación del procedimiento de muestreo puede resumirse como sigue:

- Revisar los lotes de alfalfa una vez por semana desde fines de primavera, que es cuando las poblaciones de la plaga se incrementan.
- Reducir el período entre muestreos a 4 ó 5 días en tiempo caluroso.
- Con una red de arrastre (38 cm de diámetro y mango de 70 cm) sostenida con ambas manos, realizar enérgicas pasadas dentro del cultivo, de modo que cada golpe efectúe un recorrido de 1,20-1,30 m.

- Iniciar el muestreo tomando 5 redadas cada 5 o 6 pasos. Extraer el material verde recolectado para no dificultar el manejo de la red.
- En caso de lotes o parcelas cuadradas o rectangulares, efectuar un recorrido en forma de «M», de tal modo que se definan 5 estaciones de muestreo.
- En lotes manejados con pastoreo rotativo, realizar el muestreo de cada parcela por separado.
- Luego de cada serie de golpes de red, efectuar el recuento de orugas medianas y grandes (mayores de 10 mm.).

La realización o no de un tratamiento de control se toma sobre la base del recuento de orugas que se obtenga y a la escala de nivel de infestación exhibida en el Cuadro 2, conforme el cultivo tenga menos o más de 30 cm de altura. Si el número de orugas cae por debajo de los límites inferiores de la escala, el grado de infestación no justifica el tratamiento. Por el contrario, si sobrepasa los límites superiores, es lo suficientemente severo como para sugerir un tratamiento de control. Si cae en niveles intermedios, se debe realizar otra serie de 5 golpes de red en un lugar diferente y sumar la nueva cantidad de orugas al recuento previo y volver a consultar la escala. Si se vuelve a caer en un nivel intermedio, se deben ir agregando nuevas series de 5 golpes de red hasta que se pueda tomar una decisión. Si después de 40 golpes de red no se pudo llegar a una definición, se debe suspender el muestreo y aceptar la decisión de «tratamiento» si se ha contado, en cultivos de menos 30 cm de altura, un total de más de 150 orugas y «no tratamiento» si ese total es igual o menor a 150. En cultivos de más de 30 cm de altura, ese nivel de decisión se ubica en las 300 orugas capturadas.

## Control cultural

Aunque no conviene repetirlo en la misma temporada, el corte o pastoreo anticipado del forraje es una medida aconsejada cuando las plagas comienzan a provocar daños al cultivo. Debe tenerse en cuenta que luego de cortada la pastura, las larvas pueden consumir los brotes nuevos de la alfalfa a nivel de corona.

**CUADRO 2** – Niveles de infestación de oruga de alfalfa (*Colias lesbia Fab.*) en un muestreo secuencial de decisión para realizar tratamientos de control (30).

Cultivos menores de 30 cm Número total de larvas > 10 mm.			Cultivos mayores de 30 cm. Número total de larvas > 10 mm		
Nº total de golpes de red	Nº total de larvas > 10mm		Nº total de golpes de red	Nº total de larvas > 10 mm	
	Límite inferior	Límite superior		Límite inferior	Límite superior
10	20	60	10	48	115
15	40	80	15	85	155
20	60	100	20	125	195
25	80	120	25	165	235
30	100	140	30	205	275
35	120	160	35	245	315
40	140	180	40	285	355

Nivel de decisión final : 150

Nivel de decisión final : 300

## Control con insecticidas

Numerosos insecticidas están registrados para el control de la oruga de la alfalfa (Cuadro 3), incluyendo productos de origen biológico, carbamatos, un derivado de éster cíclico, organofosforados y piretroides. Varios de estos últimos son utilizados en dosis muy reducidas, de pocos gramos de producto activo por hectárea (g p.a. ha<sup>-1</sup>), y logran un control satisfactorio de la plaga (33, 34); si bien no poseen una larga acción residual, logran un efecto de limpieza del lote lo suficientemente prolongado como para llegar al siguiente corte o pastoreo sin necesidad de efectuar aplicaciones adicionales. Las formulaciones comerciales de *Bacillus thuringiensis* combinan un eficaz control de *C. lesbia* con la ventaja de preservar la fauna útil de parásitos y predadores (39); asimismo, al no tener tiempo de carencia (número mínimo de días antes del corte o pastoreo en que deben suspenderse los tratamientos), se puede pulverizar el producto sin retirar los



**CUADRO 3** – Listado parcial de insecticidas registrados para el control de la oruga de la alfalfa (*Colias lesbia* Fab.). Se incluyen los principios activos, las formulaciones, las restricciones al pastoreo (tiempo de carencia) y las clases toxicológicas. Fuente: Guía de Productos Fitosanitarios, CASAFA (2005).

Producto activo, concentración y formulación (*)	Dosis (g / cc ha <sup>-1</sup> )	Restricciones al pastoreo	Clase toxicológica(**)
Acefato (75%), SP	450–700 g	15 días	III
Alfametrina (10%), EC	30–35	14	II
<i>Bacillus thuringiensis</i> (3,5%), EC	150–300	No	IV
Beta Cypermctrina (10%), EC	30–40	14	II
Clorpirifos (48%), EC	0,3–0,35	7 producción carne 20 producción leche	II
Cyflutrina (5%), EC	50–60	14	II
Cypermctrina (5%)+Clorpirifos (50%),EC	250	14	II
Cypermctrina (25%), EC	60–100	14	II
Deltametrina (5%), EC	30–40	14	II
Deltametrina (0,8%) + Endosulfan (32%), EC	150 - 200	14	1 b
Dimetoato (37,6%), EC	500–530	7	II
Endosulfán (35%), EC	600–700	14	1 b
Fentoato (50%), EC	500–600	7	II
Fenvalerato (30%), EC	100	4	II
Gammacalotrina (15%), CS	8–13	1	III
Lambdacialotrina (25%), CS	10–15	1	1 b
Mecaptotion (10%), EC	600	7	IV
Metamidofos (60%), SC	600–700	30	1 b
Metidation (40%), EC	250 cc	30	1 b
Metomil (90%), SP	250–500 g	10	1 b
Permetrina (38,4%), EC	50	7	II

**Referencias:**

(\*) SP = polvo soluble; EC = concentrado emulsionable; CS = suspensión de encapsulados; y SC = suspensión concentrada

(\*\*) 1b = muy peligroso; II = moderadamente peligroso; III = poco peligroso; y IV = normalmente no peligroso.

**Nota:** se sugiere consultar la citada Guía de Productos Fitosanitarios para obtener más detalles acerca de los productos, las formas de aplicación y otras formulaciones adicionales no incluidas en esta lista.

animales de la pastura; finalmente, también contribuye a evitar la aparición de razas o biotipos de orugas resistentes a los insecticidas de origen químico (66, 68).

## Orugas cortadoras

Durante los meses de primavera suelen ocurrir intensos ataques de orugas cortadoras en los cultivos de alfalfa de Córdoba, oeste de Buenos Aires, norte de La Pampa y

este de San Luis, con pérdidas muy severas, llegando en casos extremos a la destrucción de los lotes. El tipo de daño producido, corte de brotes y tallos jóvenes a nivel del suelo, y los hábitos nocturnos de estas orugas son factores que impiden que su presencia sea detectada en forma temprana y que, en general, los tratamientos de control se realicen tarde, cuando ya la plaga ha causado gran parte del daño.

Mediante tareas de reconocimiento de especies efectuadas en localidades ubicadas en el oeste y sur de Córdoba, sur de Santa Fe y oeste de Buenos Aires, se ha establecido que las especies predominantes en los cultivos de alfalfa son la «oruga cortadora áspera», *Agrotis malefida* (Guen.), y la «oruga cortadora parda», *Porosagrotis gypaetina* (Guen.). Las identificaciones fueron efectuadas por el Ing. Agr. Horacio Rizzo (*INTA Castelar, comunicación personal*). Ambas se caracterizan por tener una sola generación anual y por alcanzar densidades de población de 100-160 orugas m<sup>-2</sup> en ataques intensos, en los meses de septiembre y octubre. Las proporciones de una u otra pueden ser variables de acuerdo con la edad de la pastura, la fecha de muestreo y los factores climáticos.

Dentro de este grupo de orugas cortadoras se han observado también daños esporádicos en pasturas de alfalfa del sur-suroeste de Córdoba y este de San Luis de *Euxoa bilitura* (Guen.), *Agrotis brachiaris* y *Peridroma saucia*, especies que pueden tener 3-4 generaciones anuales.

A continuación se ofrecerá una descripción de los principales aspectos de la biología y el control de estas especies de lepidópteros.

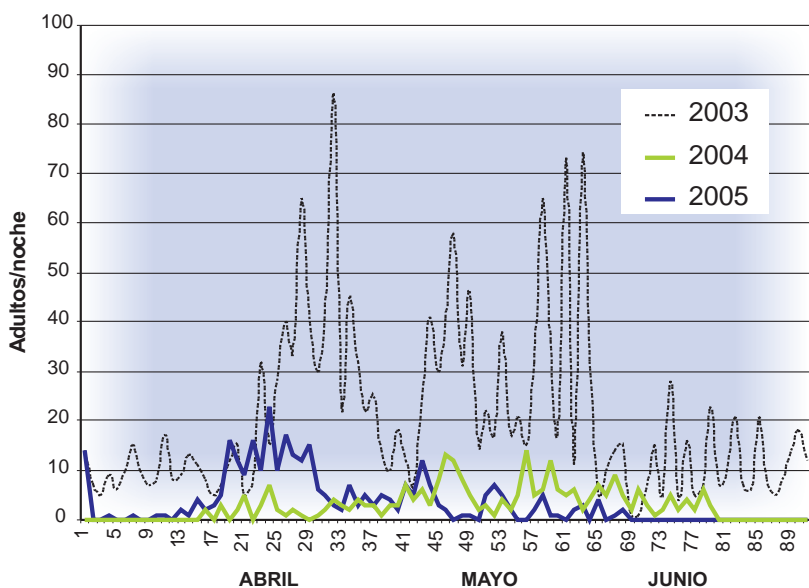
## **Oruga cortadora áspera (*Agrotis malefida* Guen)** **Reconocimiento y biología**

Las orugas de esta especie se reconocen fácilmente por su amplia banda dorsal de color claro y por sus flancos de color verde oscuro. La cabeza tiene el vértex negro y la frente de color marrón claro. En su máximo tamaño alcanzan 50-55 mm de largo y 8-9 mm de ancho, momento en que presentan la piel brillante y lustrosa. En su desarrollo presenta 8 estadios larvales que, además de la alfalfa, pueden alimentarse de numerosas malezas y plantas jóvenes de maíz, girasol y soja.

Los adultos son mariposas de hábito nocturno (polillas) y de alas color oscuro con manchas blancas, que alcanzan su mayor abundancia durante el otoño, especialmente entre fines de abril y mayo. En la Figura 1 se presentan las densidades de adultos recolectadas en trampas de luz estándar (lámpara de 125 W Hg) ubicadas en Marcos Juárez (Córdoba) durante los otoños de 2003 a 2005.

Cada hembra, una vez fecundada por el macho, puede oviponer entre 1.500 y 1.800 huevos, los que en forma aislada son depositados en la base de las coronas de las plantas y entre las malezas y restos vegetales. El estado de huevo dura de 3 a 4 semanas, de acuerdo con la temperatura a que estén expuestos.

Cuando los huevos eclosionan aparecen las larvas u orugas, que miden al nacer aproximadamente 2 a 3 mm. Éstas comienzan a alimentarse y crecer gradualmente, pudiendo tolerar bien los fríos invernales porque están protegidas por la cobertura que les ofrece el mantillo de restos vegetales. A partir de septiembre comienzan a acelerar su desarrollo, alcanzando su máximo tamaño entre mediados de octubre y noviembre. Todo esto



**FIGURA 1** – Dinámica de población de adultos de *Agrotis malefida* durante los meses otoñales del período 2003-2005, según capturas nocturnas con trampas de luz en INTA Marcos Juárez .

implica un período larval de 100 a 140 días.

Cuando la larva completó su desarrollo, prepara una cámara o celda de tierra cuya parte superior se ubica a una profundidad de 1 a 2 cm de la superficie, donde permanece en reposo durante los meses de verano (diapausa estival). Hacia fines del verano y otoño, con la disminución de la temperatura del suelo, la larva en reposo gradualmente se transforma en pupa; luego de 4-6 semanas, ésta da origen al adulto, que emerge a la

superficie del suelo e inicia un nuevo ciclo de vida. En la Figura 2 se presenta una esquematización que resume el ciclo de vida de esta especie (5). En los EE.UU., especies de orugas cortadoras como *Agrotis gladiaria* y otras, tienen también una sola generación

año<sup>-1</sup> y presentan diapausa estival, en forma independiente de la latitud (9, 16, 17).

ESTADO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Larva en diapausa												
Pupa												
Adulto												
Huevo												
Larva												

**FIGURA 2** – Diagrama del ciclo biológico de la oruga cortadora áspera, *Agrotis malefida*, en la Región Pampeana. Adaptado de Aragón (5).

puede variar a gris pardo. El área dorsal no se diferencia mayormente del resto del cuerpo, excepto en que está separada de los flancos por una serie de manchas claras alargadas y ubicadas en forma oblicua. En las orugas pequeñas o medianas la banda dorsal tiene un aspecto de espiga. En la cabeza; el vértex es negro, pero presenta lateralmente un área clara formada por diminutas manchas blancas en forma irregular.

## Oruga cortadora parda (*Porosagrotis gypaetina* Guen)

### Reconocimiento y biología

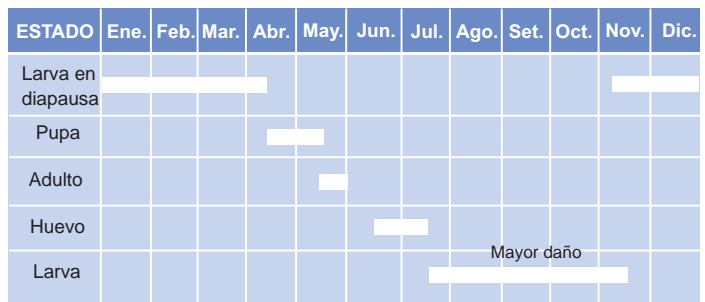
Las orugas grandes de esta especie son de color gris oscuro, que

Las larvas, que cuando son recién nacidas miden de 2-3 mm, alcanzan en el último de sus 7 estadios una longitud de 40-45 mm. El ciclo biológico de esta especie, que es similar al ya descrito para *Agrotis malefida*, se representa en la Figura 3. La diferencia más importante es que las orugas de *P. gypaetina* están mejor adaptadas a los fríos invernales y completan su desarrollo en sólo 90-120 días, hacia fines de septiembre y octubre. En la latitud de Marcos Juárez, los adultos tienen su pico de emergencia entre fines de abril y mediados de mayo.

## Oruga cortadora (*Euxoa bilitura* Guen)

### Reconocimiento y biología

Esta especie produjo en algunos años ataques intensos durante fines de primavera (noviembre-diciembre) y otoño en cultivos de alfalfa del sur y sudoeste de Córdoba y este de San Luis. Sus larvas tienen aspecto similar a las de *A. malefida* pero son de tamaño menor, alcanzando una longitud máxima de aproximadamente 40 mm de largo. El color de la cabeza es de castaño claro. En Mendoza, donde se la conoce como «oruga cortadora de la papa», es una plaga importante de numerosas hortalizas y alcanza hasta 3 generaciones año<sup>-1</sup>, según estudios efectuados tanto en esa provincia como en Chile (22, 56). La última generación anual se inicia con la aparición de los adultos en marzo y abril, los que dan origen a una población de larvas que pasan el invierno parcialmente desarrolladas; a partir de agosto, esas larvas se activan y completan su desarrollo en el mes siguiente. Si los meses de fines de otoño (mayo-junio) son cálidos, las orugas pueden adelantar su desarrollo y provocar daños en los cultivos de alfalfa. Las larvas se transforman en pupa en una celda de tierra y emergen como adultos luego de 18 a 20 días. El estado de prepupa en esta especie dura sólo 2 a 3 días.



**FIGURA 3** - Diagrama del ciclo biológico de la oruga cortadora parda, *Porosagrotis gypaetina*, en la Región Pampeana. Adaptado de Aragón (5).

El estado de prepupa en esta especie dura sólo 2 a 3 días. El color de la cabeza es de castaño claro. En Mendoza, donde se la conoce como «oruga cortadora de la papa», es una plaga importante de numerosas hortalizas y alcanza hasta 3 generaciones año<sup>-1</sup>, según estudios efectuados tanto en esa provincia como en Chile (22, 56). La última generación anual se inicia con la aparición de los adultos en marzo y abril, los que dan origen a una población de larvas que pasan el invierno parcialmente desarrolladas; a partir de agosto, esas larvas se activan y completan su desarrollo en el mes siguiente. Si los meses de fines de otoño (mayo-junio) son cálidos, las orugas pueden adelantar su desarrollo y provocar daños en los cultivos de alfalfa. Las larvas se transforman en pupa en una celda de tierra y emergen como adultos luego de 18 a 20 días. El estado de prepupa en esta especie dura sólo 2 a 3 días.

### Enemigos naturales de las orugas cortadoras

Los trabajos efectuados sobre la bioecología de *A. malefida* y *P. gypaetina* han determinado que la avispa *Thimebatis* sp. (Hymenoptera: Ichneumonidae) puede parasitar hasta el 70% de celdas con larvas en diapausa estival o pupas de estas orugas cortadoras. El parásito tiene una sola generación por año, en forma sincronizada con la plaga. Las avispas adultas, de unos 2 cm de longitud, están activas desde fines de agosto hasta octubre y parasitan larvas chicas. Las orugas parasitadas pueden completar su desarrollo larval, pero cuando terminan la celda de tierra las larvas de las avispas las consumen en su totalidad; seguidamente, la larva del parásito prepara un capullo de seda de 1,5-2 cm, donde permanece en diapausa hasta su transformación en pupa durante el invierno siguiente, desde donde emerge como adulto y así reinicia un nuevo ciclo.

También se han observado diversos organismos patógenos -hongos, bacterias y virus- que afectan a larvas y pupas de orugas cortadoras. Esto indica que las poblaciones de estas plagas están normalmente reguladas por importantes agentes de control biológico que, en combinación con los factores climáticos, las mantienen oscilando dentro de niveles de abundancia relativamente estables.

### Época y técnica de muestreo

En la Región Pampeana, la época más apropiada para iniciar las tareas de muestreo de orugas cortadoras de una sola generación anual es la primera quincena de septiembre, período en el que la mayor parte de las larvas no supera los 15-20 mm de longitud. En las áreas donde *Euxoa bilitura* se presenta como plaga potencial (sudoeste y sur de Córdoba y este de San Luis), también es conveniente realizar muestreos en verano y otoño, especialmente en temporadas de sequía (5).

Debe tenerse en cuenta que las posibilidades de alta infestación son mayores en lotes con alfalfa de 3 a 4 años de edad, con abundancia de broza o mantillo; sin embargo, en suelos arenosos pueden registrarse ataques de importancia en cultivos más jóvenes. En lotes sobrepastoreados, con suelos compactados y ausencia de cobertura vegetal, las probabilidades de ataques intensos se reducen considerablemente.

Para determinar el grado de infestación, la unidad de muestreo aconsejada es un cuadrado de 0,25 m<sup>2</sup> (50 x 50 cm.). El área definida debe ser revisada minuciosamente, en especial debajo de las coronas de las plantas de alfalfa. Es importante tener en cuenta que las orugas pequeñas se confunden fácilmente con la superficie del suelo y con los restos vegetales y que, además, cuando se las toca por lo general se enrollan y permanecen inmóviles, haciendo difícil su localización. En forma simultánea con el recuento de orugas se deben contar también las plantas de alfalfa presentes en cada lugar de muestreo, a fin de poder establecer luego la relación número de insectos planta<sup>-1</sup>. Cada 20-30 ha de pastura se aconseja tomar un mínimo de 10 muestras de 0,25 m<sup>2</sup>.

Una vez iniciados los muestreos, y en caso de que no se detecte el número mínimo que justifique el tratamiento, es conveniente repetirlos a los 10-15 días. Si existieran muchas orugas pequeñas (menores de 10 mm), que resultan difíciles de localizar, éstas podrán ser detectadas más fácilmente en éste segundo muestreo en virtud al mayor tamaño que tendrán.

### **Umbral de tratamiento**

En alfalfares con densidades de entre 30 y 40 plantas m<sup>-2</sup>, es conveniente efectuar un tratamiento de control cuando se detecte un promedio de 10 a 20 orugas mayores de 15 mm por cada 10 plantas de alfalfa, vale decir una media de 1 a 2 orugas planta<sup>-1</sup>.

Aunque se detecten niveles de ataque superiores a los señalados precedentemente, los tratamientos de control no deben efectuarse antes de mediados de agosto. El aumento de las temperaturas que suele registrarse a partir de esa época del año provoca una mayor actividad de la plaga, lo que, al promoverse la ingestión por parte de las orugas de las partes vegetales tratadas con insecticidas, aumenta significativamente la eficiencia de las aplicaciones.

### **Control químico**

El control temprano de las orugas cortadoras en alfalfa es recomendable porque en ese momento existe una alta proporción de orugas pequeñas que, al ser más sensibles a los insecticidas, permite el uso de dosis más reducidas (33, 34). Es preferible efectuar pulverizaciones dado que éstas cubren más homogéneamente el área tratada y, en consecuencia, resultan más eficaces que los cebos tóxicos.

Hasta el presente no se dispone de ningún insecticida registrado específicamente para el control de estos insectos en alfalfa. Sin embargo, hay alguna evidencia experimental (*datos no publicados*) que indicaría que los insecticidas piretroides registrados para ser usados en alfalfa, aplicados en dosis similares a las utilizadas en el control de cortadoras en maíz y girasol, pueden brindar un eficiente control.

## **Pulgonos de la alfalfa**

El cultivo de la alfalfa en la Argentina es atacado por varias especies de pulgonos. En el año 1969 se determinó la presencia y la rápida difusión del «pulgón verde» de la



alfalfa (*Acyrtosiphon pisum* Harris), una plaga originaria de Medio Oriente que ya había sido detectada en América del Norte antes del año 1900. En nuestro país, al no disponerse de ningún tipo de información ni experiencia para su control, su irrupción provocó severas pérdidas en los cultivos de alfalfa. Los primeros ataques fueron extremadamente intensos y se vieron favorecidos por la ausencia de enemigos naturales específicos y por la gran susceptibilidad que presentaban las alfalfas utilizadas en esa época (42, 44).

En 1976 hizo su aparición el «pulgón azul» de la alfalfa (*Acyrtosiphon kondoi* Shinji), que es originario del Lejano Oriente (norte de China y Manchuria) y que había sido detectado un año antes en los EE. UU. (40, 64). De menor tamaño que el anterior, esta especie se caracteriza por su color verde con un tono ligeramente azulado ceroso (54). Su buena adaptación al frío le permite incrementar sus poblaciones en invierno, escapando en gran medida a la acción de los enemigos naturales, principalmente en épocas de sequía (47, 53).

Entre febrero y marzo de 1985 se produjeron severos ataques de otra especie conocida vulgarmente como «pulgón negro de las leguminosas», *Aphis craccivora* Koch. En el verano de 1987 se registraron ataques intensos de *Therioaphis trifolii* Monnell, especie conocida vulgarmente como «pulgón manchado» o «moteado» de la alfalfa. En la actualidad, los ataques de este último áfido se repiten anualmente en las zonas subhúmeda y semiárida de la Región Pampeana desde la primavera hasta el otoño de cada año, en particular, en condiciones de sequía.

Seguidamente, se incluirá una breve descripción de las características biológicas y de control de estas cuatro especies de pulgones que atacan al cultivo en el país.

## **Pulgón verde de la alfalfa (*Acyrtosiphon pisum* Harris)**

Los pulgones adultos miden de 4 a 4,5 mm de longitud y son de color verde brillante, con las antenas de color claro pero con una banda negra en cada articulación de los segmentos. Se reproducen por viviparidad (las hembras dan origen a crías vivas) y por partenogénesis (asexual). Esto significa que, bajo condiciones normales, la población se compone de hembras que dan origen a crías vivas sin ser fecundadas por el macho. Las formas sexuales, tanto machos como hembras, sólo aparecen en regiones muy frías, pudiendo dar origen a huevos capaces de soportar temperaturas bajo cero durante varios meses (31, 46).

### **Daños**

Por medio de su aparato bucal picador-chupador, estos insectos extraen savia de la alfalfa. Las plantas muy susceptibles detienen su crecimiento y las hojas superiores se tornan de color verde claro, mientras que las inferiores, que fueron primeramente atacadas, amarillean y mueren. Los pulgones introducen toxinas y segregan sustancias melosas, sobre las que se desarrollan hongos saprófitos. Como resultado de todo eso, el rendimiento del cultivo y la calidad del forraje se reducen en proporción al nivel y a la duración del ataque. Durante la implantación de la alfalfa los daños provocados por la plaga pueden ser muy severos, provocando la muerte de plantas jóvenes y/o el retraso del crecimiento en períodos de sequía (46).

### **Enemigos naturales**

Como se resume en el Cuadro 4, numerosos predadores consumen las poblaciones de

pulgón verde. Entre los más importantes se pueden destacar a las larvas y los adultos de *Eriopis connexa* Germar, *Hippodamia convergens* Guerin y otras especies de coleópteros coccinélidos.

**CUADRO 4** – Lista parcial de enemigos naturales de los pulgones de la alfalfa

	ENEMIGOS NATURALES	OBSERVACIONES
<b>Predadores</b>	<i>Eriopis connexa</i> (Coccinellidae) <i>Hippodamia convergens</i> (Coccinellidae) <i>Coccinella ancoralis</i> (Coccinellidae) <i>Coleomegilla sp.</i> (Coccinellidae) <i>Nabis spp.</i> (Nabidae) <i>Geocoris spp.</i> (Ligaeidae) <i>Orius sp.</i> (Anthocoridae) <i>Chrysopa spp.</i> (Chrysopidae)	Los coccinélidos, como así también los otros predadores, actúan sobre todas las especies de pulgones de la alfalfa y de otros cultivos. Salvo las crisopas, todas las demás especies pueden ejercer su acción predatoria tanto en estado adulto como en los de ninfa o larva.
<b>Avispitas parásitas</b>	<i>Aphidius smithii</i> (Aphidiidae) <i>Aphidius ervi</i> (Aphidiidae)  <i>Praon volucre</i> (Aphidiidae)	Las dos especies de <i>Aphidius</i> fueron introducidas en la década de 1970 para el control de los pulgones verde y azul. Actualmente tienen gran difusión en el país.  Esta especie fue identificada en los primeros años de ataque del pulgón verde. No se observa actualmente.
<b>Patógenos</b>	<i>Entomophthora sp.</i> (Hongos)	En condiciones de humedad estos hongos atacan con gran rapidez.

También varias especies de avispitas parásitas (microhimenópteros) atacan a esta plaga, depositando sus huevos en el interior del cuerpo de pulgones pequeños (23, 26). Al eclosionar, las larvas que emergen se alimentan del cuerpo del huésped hasta alcanzar su máximo desarrollo y transformarse en pupa, siempre en el interior del cuerpo del pulgón. Los pulgones parasitados, una vez que la avispa completó su desarrollo, quedan adheridos a las hojas de la alfalfa y toman un aspecto globoso, con una superficie tersa y brillante, de color variable, según la especie de parásito que actúe. Luego de la metamorfosis, las avispas adultas emergen por una abertura circular efectuada en la parte posterior del área dorsal del pulgón (12, 27, 73). Como estas avispas tienen gran capacidad de detección de hospedantes, pueden encontrar pulgones aún a muy bajas densidades, logrando así mantener el equilibrio entre la plaga y el parásito a lo largo de muchas temporadas. Dos de estas especies de microhimenópteros, *Aphidius smithii* y *Aphidius ervi* fueron importadas al país desde EE.UU. En 1972, después de ser multiplicadas en laboratorio, fueron liberadas a condiciones de campo en las áreas de influencia de las estaciones experimentales del INTA en Anguil, Manfredi y Marcos Juárez. A partir de allí, ambos parásitos se establecieron y se difundieron con rapidez, contribuyendo eficazmente en la actualidad al control de esta plaga tan perjudicial para la alfalfa (53, 62). *A. ervi* tiene además la ventaja de parasitar también al pulgón azul.

Lamentablemente, se ha identificado y evaluado la presencia de algunas especies de microhimenópteros hiperparásitos, que parasitan a las avispas *Aphidius* y disminuyen su eficiencia de control. Las larvas de estos microhimenópteros se desarrollan dentro de las larvas de *Aphidius*, y en algunos veranos pueden alcanzar niveles de 60-80% de hiperparasitismo, limitando seriamente la acción benéfica de las especies de *Aphidius* (24, 72). Hasta el presente se han identificado tres especies de hiperparásitos: *Ligocerus sp.*, *Asaphes lucens* y *Pachyneuron sp.* (58, 59).

Otro microhimenóptero que ataca al pulgón verde de la alfalfa es *Praon volucre*, especie ya existente en la Argentina antes de la aparición de la plaga. Luego de haberse alimentado del cuerpo del pulgón, la larva del parásito prepara un refugio o celda circular de seda debajo del cuerpo del áfido, donde se transforma en pupa y luego en adulto.

Cuando el parásito ha completado su ciclo, el cuerpo vacío del pulgón (exoesqueleto) permanece adherido a esta celda circular.

Finalmente, una enfermedad causada por hongos patógenos del género *Entomophthora* puede reducir rápidamente las poblaciones de pulgón verde en períodos de alta humedad. Los pulgones afectados quedan adheridos a las hojas y tallos, presentando su cuerpo hinchado y de color pardo rojizo (23, 75).

### **Uso de variedades resistentes**

El método más eficiente para el control de todos los pulgones de la alfalfa –no sólo del pulgón verde- es el uso de variedades resistentes, desarrolladas a través de técnicas de mejoramiento genético que implican la detección y la selección de individuos resistentes. La resistencia de las plantas se deriva de la acción individual o combinada de tres mecanismos básicos: antibiosis (sustancias en la planta que afectan el crecimiento, la supervivencia y/o la tasa de reproducción de los insectos), tolerancia (la planta no evita el desarrollo de la plaga pero soporta sus daños) y antixenosis o no preferencia (la planta presenta características que la hacen no deseable como alimento, cobijo o lugar de oviposición de la plaga). El tipo de control que ofrece el empleo de cultivares resistentes ha demostrado ser muy durable y es totalmente compatible con otros métodos de lucha. En un principio, la tarea de mejoramiento se efectuaba sobre una sola especie de pulgón y en función de la región donde se iba a utilizar el material seleccionado; en la actualidad, existen cultivares comerciales que combinan altos niveles de resistencia a los principales pulgones de la alfalfa: verde, azul y moteado (57).

Cuando se empleen variedades resistentes a pulgones deben tenerse en cuenta dos conceptos importantes: 1) Las bajas temperaturas invernales, ocasionalmente unidas a deficiencias hídricas en esa época del año, pueden someter a las plantas a condiciones de estrés capaces de disminuir sus niveles de resistencia; este tipo situación, que suele presentarse con ataques intensos del pulgón azul durante agosto, puede hacer necesario la realización de un tratamiento de control, y 2) Una variedad es considerada «resistente» cuando tiene el 31-50% de sus individuos resistentes, y «altamente resistente» cuando tiene más del 51% de individuos resistentes; es decir que -aún en las mayores categorías de resistencia- la población posee importantes porcentajes de plantas susceptibles que, bajo ciertas condiciones favorables a la plaga, pueden obligar a la realización de tratamientos de control; de todos modos, éstos resultan significativamente inferiores a los que deberían hacerse si se trabajara con variedades susceptibles o de baja resistencia.

### **Medidas de control**

El control químico del pulgón verde de la alfalfa puede efectuarse mediante pulverizaciones con equipos aéreos o terrestres. En Cuadro 5 se ofrece un listado de los insecticidas que pueden utilizarse. Es importante mencionar que, además de los gastos que demanda la compra y la aplicación de los productos para los controles periódicos de la plaga, los insecticidas que se especifican –con la sola excepción del Pirimicarb- tienen una reducida selectividad hacia los enemigos naturales, lo que abre la posibilidad de nuevos ataques de los mismos pulgones o de otras plagas de la alfalfa.

**CUADRO 5** – Listado parcial de insecticidas registrados para el control de pulgones de la alfalfa. Se incluyen los principios activos, las formulaciones, las restricciones al pastoreo (tiempo de carencia) y las clases toxicológicas. Fuente: Guía de Productos Fitosanitarios, CASAFE (2005).

Producto activo, concentración y formulación (*)	Dosis g o cc ha <sup>-1</sup>	Restricciones al pastoreo	Clase Toxicológica (**)
Clorpirifos (48%), EC	350–400	7 días producción carne 20 días producción leche	II
Dimetoato (37,6%), EC	530- 640	7días	II
Mecaptotión (100%), EC	850	7 días	IV
Metamidofos (60%), SC	500- 600	30 días	1 b
Metidation (40%), EC	250	30 días	1 b
Pirimicarb (50%), WG	100 g	1 día	II

**Referencias:**

(\*) EC = concentrado emulsionable; SC = suspensión concentrada; y WG = gránulos dispersables.

(\*\*) 1b = muy peligroso; II = moderadamente peligroso; y IV = normalmente no peligroso.

**Nota:** se sugiere consultar la citada Guía de Productos Fitosanitarios para obtener más detalles acerca de los productos, las formas de aplicación y las formulaciones adicionales a las incluidas en esta lista.

### Muestreo y umbral de daño

El umbral de daño económico para el pulgón verde de la alfalfa, calculado en función del nivel de ataque (grado de infestación) y del crecimiento (altura) de las plantas, puede resumirse así:

Altura del cultivo	Nº de pulgones verdes tallo <sup>-1</sup> (promedio)
< 30 cm	20 – 25
30 – 50 cm	30 – 40

Los cultivos de alfalfa de más de 60 cm de crecimiento pueden tolerar altas poblaciones de pulgones verdes sin sufrir daños significativos. En estos casos, si se observaran altas poblaciones de la plaga, es aconsejable efectuar el corte o el pastoreo intensivo del forraje y evitar la utilización de insecticidas para su control.

Por el contrario, durante las primeras semanas posteriores a la emergencia de los cultivos nuevos, los tratamientos de control deben efectuarse cuando se compruebe la presencia de 2 a 5 pulgones plántula<sup>-1</sup> y de acuerdo al estado de crecimiento y los síntomas de daño.

Es necesario tener presente que los valores de umbrales de daño sugeridos son orientativos y que los mismos pueden ser modificados en función de la humedad del suelo, condiciones estresantes para el cultivo o favorables para la plaga, la época del año y la presencia de enemigos naturales.

### Pulgón azul de la alfalfa (*Acyrtosiphon kondoi* Shinji)

Como ya fuera mencionado, este pulgón proviene del norte de China y Manchuria. En 1974 fue detectado en la costa oeste de Estados Unidos (19, 47, 64), en 1975 en Nueva

Zelandia y en 1976 en Australia y la Argentina. En nuestro país, su distribución a través de la mayor parte del área alfalfera ocurrió en forma rápida a partir del otoño de 1977. En todos los casos, el daño ocasionado fue de elevada intensidad, llegando a reducir hasta el 70% la producción primaveral de forraje de variedades y ecotipos susceptibles (53).

El pulgón azul debe su nombre a su color verde azulado, que lo diferencia del color verde pálido que caracteriza al pulgón verde; además, tanto las hembras aladas como las ápteras del pulgón azul son más pequeñas que las del pulgón verde.

Las colonias de *A. kondoi* se establecen sobre tallos y brotes y se reproducen activamente desde mediados de julio, época en que el pulgón verde está todavía ausente por intolerancia a las bajas temperaturas. El ciclo de vida del pulgón azul es similar al ya descrito para el pulgón verde, con la diferencia de su mayor adaptación a condiciones climáticas más frías; por ello, sus poblaciones se incrementan hacia fines de invierno/principios de primavera y desaparecen con la llegada de los calores estivales, pudiendo producir otro pico de población en el otoño.

### **Daños**

Si bien el tipo de daño que causa el pulgón azul es similar al ya señalado para el pulgón verde, presenta algunas particularidades. Por medio de su aparato bucal picador-chupador, al alimentarse también introducen toxinas, pero éstas son de mayor agresividad y pueden causar severos daños a los brotes y tallos. En ataques intensos, las plantas pueden detener su desarrollo y presentar un marcado acortamiento de los entrenudos y un menor desarrollo de las hojas, que pueden además tomar un color amarillento o violáceo. La deformación de las hojas, a través de enrulamientos o encrespamientos, es otra característica del daño. Por todas estas razones, el pulgón azul causa daños económicos a menores densidades de población que el pulgón verde de la alfalfa (38).

### **Enemigos naturales**

Varios enemigos naturales del pulgón azul han sido identificados en la Argentina. Estos incluyen a la ya caracterizada avispa *Aphidius ervi*, a coccinélidos y a larvas de moscas sírfidas. También es atacado por los hongos patógenos del género *Entomophthora*.

El control que estos enemigos ejercen sobre la plaga puede ser importante, a punto tal que los ataques más graves de este áfido ocurren durante épocas de sequía y de bajas temperaturas, a fines del invierno y principios de la primavera, condiciones que precisamente impiden un rápido desarrollo de parásitos y predadores.

### **Uso de variedades resistentes**

En este caso también el uso de variedades resistentes es el mejor método para evitar sus daños (57).

### **Presencia de un nuevo biotipo**

En los últimos años, se viene observando que muchos cultivares de alfalfa caracterizados como resistentes al pulgón azul muestran un comportamiento variable frente a las poblaciones de la plaga, siendo necesaria en muchos casos la protección del cultivo



mediante la aplicación de insecticidas. Se ha estimado que este comportamiento diferente de variedades otrora resistentes se debe a la presencia de un biotipo denominado Raf 1990 (37). Obviamente, esto obliga al desarrollo de otros cultivares con adecuados niveles de resistencia al nuevo problema.

### Control químico

El control químico del pulgón azul puede efectuarse con los mismos productos y las mismas dosis que se recomendaron en el Cuadro 5 para los tratamientos contra el pulgón verde (35).

### Umbral de daño

El pulgón azul, por la mayor incidencia de las toxinas que inyecta a los brotes de alfalfa, tiene menores umbrales de daño económico que los establecidos para el pulgón verde (69):

Altura del cultivo	Nº de pulgones azules tallo <sup>-1</sup> (promedio)
< 30 cm	15 – 20
> 30 – 50 cm	20 – 25

### Pulgón negro de las leguminosas (*Aphis craccivora* Koch) (= *Aphis laburni*)

Entre fines del verano y principios del otoño de 1985, en los alfalfares de Córdoba, oeste de Buenos Aires, La Pampa, Santa Fe, San Juan y Mendoza, se registraron ataques intensos de un pulgón color oscuro (verde opaco ceroso en las ninfas y negro brillante en los adultos), de unos 2 mm de longitud, que formaba colonias muy densas en cada tallo de alfalfa. El insecto fue identificado por los técnicos del Departamento de Patología Vegetal del CICA-INTA Castelar (*comunicación personal*) como *Aphis craccivora* (= *Aphis laburni*).

Si bien con frecuencia variable, los ataques de estos insectos pueden causar intensos daños que se caracterizan por la detención del crecimiento, deformación y enrulamiento de hojas y brotes, provocados por las toxinas que introducen con la saliva por medio de sus estiletes bucales. Además de los ataques estivo-otoñales, pueden registrarse daños en primavera, juntamente con los pulgones verde y azul.

### Variedades resistentes

En 1985, ante ataques importantes que se produjeron en los lotes de alfalfa de productores de la zona de Marcos Juárez (Córdoba), se pudo comprobar que mientras el cv CUF 101 exhibía un buen comportamiento frente a la plaga, con el desarrollo de colonias reducidas en plantas aisladas, las poblaciones de alfalfa de tres ecotipos locales sufrían daños severos. Posteriormente, se observó que, en general, las variedades resistentes a los otros tres pulgones de la alfalfa presentan un aceptable comportamiento frente al pulgón negro.

### Enemigos naturales

Se ha observado que las poblaciones de este pulgón, en forma similar a las demás especies de áfidos que dañan la alfalfa, son atacadas por el complejo de enemigos natu-

rales que incluye avispas parásitas, hongos patógenos y coccinélidos (vaquitas) predadores, que tanto en estado de larva como adulto pueden consumir centenares de pulgones.

### Control químico

De acuerdo con los resultados de ensayos experimentales y parcelas demostrativas, se estima que esta especie no presenta mayores dificultades para su control químico, siendo posible el uso de los insecticidas organofosforados y carbamatos y de las dosis recomendadas para las otras especies de pulgones en alfalfa.

## Pulgón manchado de la alfalfa (*Therioaphis trifolii* Monnell)

El pulgón manchado de la alfalfa es originario del norte de África y está muy bien adaptado a los climas secos y cálidos. En América, fue identificado por primera vez en 1953 en el sudoeste de EE.UU., y en pocos años se difundió por todo el país provocando cuantiosos daños, en especial en regiones donde era favorecido por un clima similar al de su centro de origen (55).

En California, su control se efectuó inicialmente por medio de insecticidas fosforados de amplio espectro de acción y provocó efectos secundarios de gravedad, como la aparición de razas resistentes de la plaga, la destrucción de la fauna útil -con la consiguiente irrupción de muchas plagas que antes eran secundarias o de presencia esporádica- y la contaminación ambiental que supuso intoxicaciones de animales y personas. Esta situación motivó la búsqueda de soluciones a largo plazo, como la introducción de enemigos naturales, la selección de variedades resistentes, la determinación de sistemas de muestreo y umbrales de tratamiento y la utilización de insecticidas selectivos en dosis reducidas.

Es interesante destacar que, de acuerdo con especialistas norteamericanos, la especie de pulgón moteado que ataca a la alfalfa en EE.UU. es *Therioaphis maculata*, dado que *T. trifolii* no puede multiplicarse en alfalfa y sólo lo hace en tréboles. Por el contrario, investigadores de Europa y Australia -país este en que el pulgón manchado se difundió a partir de 1977- sostienen que ambas formas corresponden a una misma especie. Incluso hay autores que identifican a este insecto como *Therioaphis trifolii* (f. *maculata*).

En nuestro país, si bien fue identificado por primera vez en 1983 en Balcarce (Buenos Aires), los primeros ataques intensos se detectaron en el verano de 1987 en Córdoba, Santa Fe y La Pampa (74). En la actualidad, el pulgón manchado está presente en todas las regiones del país donde se cultiva alfalfa. Los mayores ataques se registran durante el período primavera-verano-otoño, especialmente en condiciones de sequía, y las zonas usualmente más afectadas son las subhúmeda y semiárida de la Región Pampeana.

El pulgón manchado es más pequeño que las otras especies ya descritas y tiene coloración amarillento-verdosa clara. En el dorso presenta varias hileras de manchas castañas oscuras, con uno o varios pelos cortos en cada una, característica que requiere de una lupa para poder ser observada. Los sifones son ligeramente oscuros y las antenas tienen el mismo largo y coloración del cuerpo. Este pulgón también se multiplica rápidamente por viviparidad y partenogénesis. A temperaturas de 24° C requiere de 7 a 8 días para llegar a estado adulto, luego de pasar por 4 estadios ninfales. El adulto puede ser áptero o alado y vive entre 4 y 5 semanas, originando en ese período hasta 100 crías, característica que explica el rápido incremento de la plaga en situaciones favorables. A

diferencia de las demás especies de pulgones que atacan la alfalfa, el pulgón manchado se ubica con preferencia en la cara inferior de las hojas basales de las plantas.

## Daños

Además de provocar retraso en el desarrollo de la planta, esta especie inyecta toxinas que producen detención del crecimiento y clorosis en las hojas. En caso de ataques muy intensos y prolongados, pueden ocasionar defoliaciones importantes e incluso la muerte de la planta. También puede segregar sustancias melosas sobre las que se desarrollan hongos saprófitos que desmejoran la calidad del forraje.

## Enemigos naturales

Una gran diversidad de insectos predadores se alimentan del pulgón manchado, entre los que se destacan los coccinélidos *Eriopis connexa* e *Hippodamia convergens*, que son muy comunes en los cultivos de alfalfa.

## Época de ataque

De acuerdo con lo expresado anteriormente, el primer ataque masivo del pulgón manchado ocurrió en el otoño de 1987, juntamente con infestaciones de pulgón verde. El segundo ataque importante se registró durante el año siguiente, en los meses de octubre y noviembre, período en el que tradicionalmente disminuye la severidad del pulgón azul. Esta característica determina que en las zonas centrales de Córdoba y Santa Fe, las poblaciones del pulgón moteado puedan aumentar desde septiembre hasta abril. Las lluvias, si son frecuentes o muy intensas, tienen un importante efecto negativo sobre las poblaciones de pulgones, al mismo tiempo que favorecen el desarrollo del cultivo.

## Variedades resistentes

En 1957 se logró en EE.UU. el cultivar Moapa, primera variedad de alfalfa con resistencia a este pulgón. En la actualidad, existe en nuestro país un gran número de variedades resistentes, cuyo uso reduce significativamente la necesidad de efectuar tratamientos de control no sólo para este pulgón sino también para el resto de áfidos de la alfalfa.

## Umbral de daño y control químico

Los umbrales de daño económico para el pulgón moteado que tentativamente se recomiendan usar en California (EE.UU.) son los siguientes:

Altura del cultivo	Nº de pulgones azules tallo <sup>-1</sup> (promedio)
Primavera y otoño	40
Verano	20

El conteo se realiza registrando el número total de pulgones presentes en 20 a 30 tallos de alfalfa, cortados en la base de las plantas, en cada uno de los 5 a 6 lugares de muestreo de la pastura. Es conveniente que la evaluación se efectúe con una frecuencia semanal. En el caso de cultivos en implantación, se recomienda el tratamiento cuando

entre el 10 y el 20% de las plántulas presentan colonias de pulgones en desarrollo. Respecto de los productos a utilizar, se sugiere recurrir a los mismos insecticidas y dosis que los recomendados para el control de los otros pulgones.

## Gorgojos de la alfalfa

Las larvas de una gran diversidad de gorgojos (Coleoptera: Curculionidae) provocan severos daños a las raíces de las plantas de alfalfa, disminuyendo la productividad y la longevidad del cultivo (18, 36, 43). El complejo de gorgojos tiene una muy amplia difusión y puede ser encontrado en todos los alfalfares de la Región Pampeana, del NOA y NEA y de las áreas productoras de semilla. Se estima que las mayores poblaciones ocurren en las zonas subhúmeda y semiárida de la Región Pampeana (10, 11).

En los primeros años de la década de 1990 se registró un notable aumento de esta plaga en cultivos de alfalfa centro y sur de Córdoba, relacionado indudablemente a la textura liviana (arenosa) de esos suelos y a los períodos de sequía intensa que se registraron allí en la primavera-verano de 1988-89. Favorecidos por esta situación, los gorgojos también provocaron severas pérdidas en cultivos de girasol, soja y verdes de amplias zonas de la Región Pampeana central (2).

### Especies principales. Aspectos biológicos

Una de las especies principales y de mayor difusión es *Pantomorus leucoloma* Boh., especie nativa de Sudamérica que fue introducida en Nueva Zelanda, donde constituye una grave plaga de los cultivos de alfalfa, y en el sudeste de los EE.UU., donde es considerada plaga esporádica de soja, maní y verdes. Otras especies dentro del mismo género que se han identificado son: *P. auripes* Hust., *P. verecundus* Hust., *P. taeniatulus* Berg, *P. viridisquamosus* Boh., *P. durius* Boh., *P. cervinus* Boh. y *P. ambiguus* Boh. También forman parte del complejo de gorgojos otras especies como *Naupactus cinereidorsum* Hust., *Priocyphus bosqui* Hust. y *Trychonaupactus densius* Hust.

La mayoría de los adultos pueden reconocerse fácilmente debido a las diferencias de tamaño, forma, coloración y otras características morfológicas. *Pantomorus leucoloma*, por ejemplo, tiene 12 a 14 mm de longitud, es de color gris oscuro y posee una banda blanca en el borde anterior del primer par de alas. Los adultos no pueden volar porque tienen los hemiélitros soldados. Al tener gran actividad durante el día son fácilmente visibles cuando se desplazan de un lote a otro. En alfalfares establecidos se los puede capturar con la ya descrita red caza-orugas, lo cual permite cuantificar su abundancia.

Hasta el presente, las larvas no pueden ser identificadas por género o especie ya que no se ha podido confeccionar una clave de reconocimiento. De todos modos, se las puede diferenciar rápidamente de otras larvas de insectos con las cuales podrían confundirse por la falta de extremidades (ápodos). Las larvas de gorgojos son de color blanco, tienen pelos cortos y finos y la piel presenta pliegues transversales. La cabeza es del mismo color, poco visible, y de ella sobresalen dos mandíbulas de color negro.

Los adultos emergen durante un prolongado período, principalmente en los meses de verano. Esta emergencia puede ser gradual o masiva, luego de una lluvia precedida por un largo período de sequía. Cada especie tiene un período de emergencia definido, con picos de población bien diferenciados (11, 48). Los gorgojos adultos pueden alimentarse de hojas de alfalfa, de tréboles y de una gran diversidad de malezas de hoja ancha.

Su alimentación en gramíneas es muy reducida. En los cultivos de alfalfa establecidos, el follaje consumido por los adultos no tiene mayor incidencia en los rendimientos. Sin embargo, algunas especies de aparición tardía -como *P. taeniatulus*- pueden emigrar a lotes de alfalfa en implantación, destruyendo plántulas e iniciando una temprana infestación.

Luego de un período de preoviposición de 8 a 15 días, una especie como *P. leucoma* puede depositar hasta 350 huevos en pequeños grupos, semienterrados en el suelo, durante las 6 a 7 semanas de su vida adulta. De esos huevos, luego de 15 a 20 días de período embrionario, nacen las pequeñas larvas que realizan su acción destructiva al provocar galerías externas y perforaciones en las raíces, tanto en la principal como en las secundarias, y hasta el corte de la raíz cuando las larvas alcanzan su mayor desarrollo. En otoño, primavera y verano es común encontrar larvas en los primeros 20 a 30 cm de suelo, aunque se han comprobado daños hasta 0,80-1 m de profundidad. Mientras que las larvas requieren 9 meses para completar su desarrollo, el estado de pupa dura unos 15 a 20 días y transcurre dentro de una celda de tierra preparada para tal fin. Los gorgojos adultos no vuelan, porque tienen el primer par de alas soldadas, pero se trasladan caminando a través de caminos y sectores sin vegetación hacia otros lotes de alfalfa, donde llevan a cabo la oviposición y el inicio de un nuevo ciclo de infestación (49).

Las plantas que tienen las raíces dañadas por las larvas de gorgojos disminuyen su rendimiento y longevidad. Usualmente, daños moderados o leves no inciden en forma significativa en los rendimientos del cultivo, a menos que se produzca una situación de sequía en la que las plantas con mayor incidencia de daño pueden llegar a secarse. Por otro lado, las heridas provocadas en las raíces son vía de entrada para una gran diversidad de hongos patógenos normalmente débiles, como *Fusarium spp.* y *Phoma spp.*, que amplían el área radicular dañada y reducen su capacidad de translocación de nutrientes. El daño al cultivo aumenta gradualmente en la medida en que nuevos adultos ingresan cada año y aumentan la población de larvas.

## Control

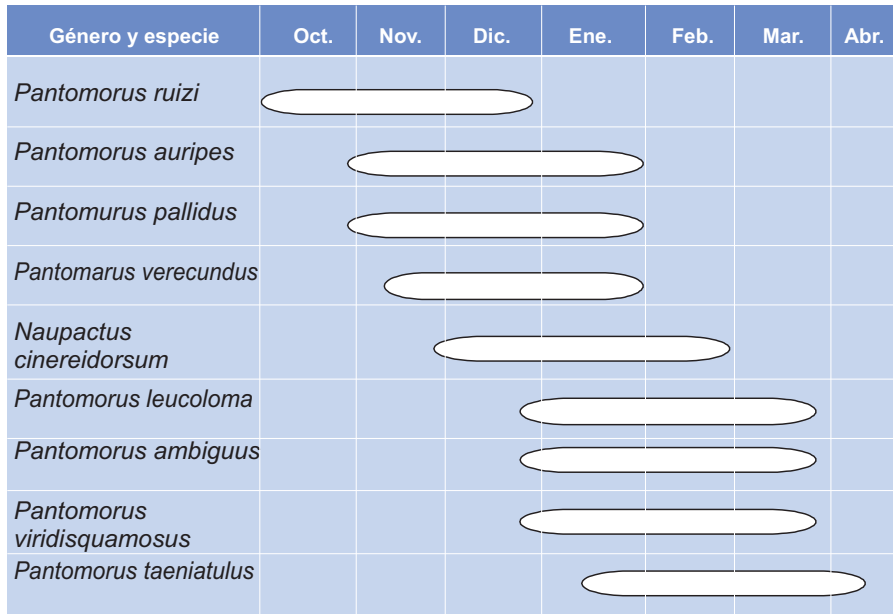
■ **Métodos culturales.** La rotación de cultivos, al interrumpir el ciclo biológico de la plaga, puede constituir una herramienta importante para disminuir las poblaciones de gorgojos. Sin embargo, las rotaciones que incluyen soja en siembra directa pueden hacer aumentar la población de larvas hasta niveles lo suficientemente altos como para dañar las raíces de plantas jóvenes.

■ **Control biológico.** Investigadores de la Universidad Nacional de la Plata identificaron y evaluaron varios enemigos naturales que incluyen microhimenópteros parásitos de huevos de gorgojos y nemátodos parásitos de larvas (15, 50, 70, 71). Estos estudios posibilitan efectuar nuevos estudios para determinar el impacto de estos enemigos naturales en las diferentes regiones del país donde los gorgojos son plagas importantes de la alfalfa.

■ **Métodos químicos.** El control de larvas por medio de insecticidas es muy difícil y poco práctico. No se dispone de productos que, una vez incorporados al suelo, sean capaces de mantener un adecuado poder residual para controlar las larvas de gorgojos en el largo período de vida del alfalfar; además, un insecticida aplicado a nivel superficial tampoco puede hacer contacto con las larvas que pueden hallarse a mayor profundidad. Por el contrario, el control químico de adultos -que son sensibles a varios insecticidas- ofrece mayores probabilidades de éxito, especialmente si se realizan tratamientos tempranos que eviten la oviposición. El principal problema lo constituye la diversidad de fechas en que las muchas especies que constituyen el complejo de gorgojos



alcanzan sus picos poblacionales (Figura 4). En este sentido, se ha determinado experimentalmente que con 3 a 6 tratamientos, efectuados a intervalos de 20 a 30 días entre noviembre y marzo, puede reducirse significativamente la oviposición y, por ende, la población de larvas. Este método ha sido ensayado con éxito en EE.UU. (25), Nueva Zelanda (20, 21) y Argentina no sólo para el control de *P. leucoloma* sino también de otras especies (48).



**FIGURA 4** – Épocas de mayor actividad de adultos (incluyendo oviposición) de nueve especies del complejo de gorgojos de la alfalfa en el centro-sur de Córdoba. Las identificaciones de géneros y especies fueron realizadas por la Dra. M. de Brewer (Universidad Nacional de Córdoba) y la Dra. A. Lanteri (Universidad Nacional de La Plata).

En el CREA Sampacho-Chaján, ubicado en el sudoeste de Córdoba, se han obtenido resultados eficientes con controles químicos que incluyen un menor número de aplicaciones de insecticidas que al mismo tiempo permiten controlar simultáneamente otras plagas, como la isoca de la alfalfa, los pulgones y/o las tucuras. Otra práctica efectiva para el control de gorgojos es efectuar aplicaciones localizadas en las borduras de los lotes por donde se inicia la infestación, atacando a la plaga en el momento de su ingreso en el lote desde campos vecinos. Esta situación puede ser detectada tanto por observación directa como por el empleo de la red de arrastre que se usa para la evaluación de orugas defoliadoras.

En caso de requerirse tratamientos químicos, y atendiendo a que en el presente no se dispone de insecticidas específicamente registrados para el control de gorgojos de la alfalfa, se recomienda consultar a un asesor profesional para determinar cuál o cuáles de los insecticidas registrados para alfalfa podría usarse en cada situación particular.

## Plagas durante la implantación en siembra directa

En los últimos años la siembra directa de alfalfa ha tenido una difusión cada vez más creciente. La disponibilidad de maquinaria adecuada, unida al mejoramiento del manejo agronómico del tema (cultivos antecesores, rotaciones, compactación de suelo, cobertura de rastrojos, etc.) han permitido lograr muy buenas implantaciones (ver Capítu-

lo 8). En ello también juegan un rol fundamental las medidas de protección inicial de las plántulas a través de la prevención del daño de enfermedades, malezas y plagas. Entre estas últimas se destaca una serie de insectos y organismos usualmente poco relevantes cuando la alfalfa se siembra con el sistema tradicional, que se basa en la preparación del suelo por medios mecánicos. En la siembra directa, el no laboreo del suelo, la presencia de rastros en superficie y la mayor humedad edáfica fomentan -entre otros factores- una mayor diversidad biológica.

En un sistema de siembra directa, entre las plagas emergentes que más comúnmente han causado daños a las plántulas de alfalfa pueden mencionarse insectos como el grillo subterráneo y los trips, algunos crustáceos como el bicho bolita y moluscos como las babosas. El control de estas plagas se realiza a través de medios químicos, como el uso de cebos tóxicos y terapicos de semilla. En el caso particular de estos últimos, se han obtenido altos niveles de eficiencia a bajo costo y con escaso o nulo impacto ambiental.

A continuación, se ofrecerá una breve reseña de cada una de estas plagas, otrora prácticamente desconocidas para los cultivos de alfalfa.

## **Grillo Subterráneo, *Anurogryllus muticus* (Orthoptera: Gryllidae)**

Esta especie se presenta provocando daños en plántulas de alfalfa durante el otoño, en lotes que se vienen manejando con varios años de siembra directa. Las poblaciones del insecto suelen aumentar en alfalfares viejos, aunque sin causar daños relevantes; no obstante, cuando esos lotes son destinados a la siembra directa de soja, maíz o girasol, densidades de 5 o más grillos subterráneos m<sup>-2</sup> pueden destruir una gran cantidad de plantas jóvenes, comprometiendo a veces seriamente la productividad del cultivo. Este insecto no debe confundirse con el grillo topo, *Scapteriscus borelli* (Orthoptera: Gryllotalpidae), que tiene una apariencia muy diferente y que es común en parques y jardines.

### **Características morfológicas y hábitos de vida**

El grillo subterráneo, de tamaño similar al grillo común, presenta en el estado adulto un color marrón claro; en las hembras, las alas son más cortas que el abdomen. En el suelo, estos grillos cavan galerías de forma y profundidad similares a las que hace el gusano blanco (*Diloboderus abderus*). Luego de una lluvia, suelen profundizar las galerías y cubrir las entradas con pequeños montículos de tierra, en forma también similar a lo realizado por el gusano blanco. La observación de estos montículos de tierra es el primer indicador de la presencia de la plaga en el lote. Los adultos aparecen en noviembre y diciembre, período en el cual se alimentan de plántulas de numerosas malezas o de los cultivos sembrados en primavera, como girasol y soja. Entre diciembre y enero, las hembras pueden poner hasta 100-120 huevos en el fondo de una misma galería, a una profundidad de hasta 20-25 cm. Después de varias semanas de desarrollo embrionario, nacen las ninfas, que durante los próximos 1 a 2 meses son alimentadas por las hembras con trozos de plantas que transportan desde la superficie. En el otoño, las ninfas de estados intermedios de desarrollo se dispersan e inician sus propias galerías. Es precisamente en este período en el que se convierten en una amenaza para los cultivos de alfalfa en implantación, dado que pueden destruir un gran número de plántulas. Durante los meses invernales, la plaga disminuye notablemente su actividad. En septiembre y octubre, las ninfas se reactivan y alcanzan el 5° estadio de desarrollo, para convertirse finalmente en adultos hacia fines de octubre y noviembre. De acuerdo con

antecedentes bibliográficos y a observaciones efectuadas en INTA Marcos Juárez, este insecto desarrolla una sola generación por año.

### **Técnicas de muestreo**

El monitoreo del grillo subterráneo se puede realizar en forma similar a la recomendada para la estimación de poblaciones de gusano blanco: porciones de muestreo de suelo de 0,25 m<sup>2</sup> (áreas cuadradas 50 X 50 cm o bien circulares de 56 cm de diámetro) y hasta los 25-30 cm de profundidad. Se debe prestar mucha atención para identificar la presencia de estos grillos, dado que el color de su cuerpo dificulta su observación, particularmente si –a diferencia de los gusanos blancos- permanecen inmóviles. Normalmente, con 10 a 15 muestreos por lote se puede estimar el nivel de infestación promedio, aunque siempre debe tenerse en cuenta que la distribución de la plaga suele ser bastante heterogénea, con algunos manchones de altas poblaciones. En estos muestreos también puede evaluarse simultáneamente la presencia de otras plagas tempranas, como bicho bolita, gorgojos, tucuras, babosas, etcétera.

### **Control químico**

Por el momento no se dispone de umbrales de tratamiento para los distintos cultivos agrícolas y forrajeros amenazados por el grillo subterráneo. No obstante, el conocimiento empírico recomienda para la soja un umbral de control de 1-2 grillos m<sup>-2</sup>. Para el control químico de la plaga en alfalfa se sugiere utilizar los insecticidas de amplio espectro registrados para el control de tucuras en especies forrajeras. Si bien estos tratamientos proveen sólo un control parcial, en general es suficiente para permitir al cultivo superar el período de mayor vulnerabilidad. Debe tenerse en cuenta que los hábitos nocturnos del grillo subterráneo le permiten escapar de la acción directa de los insecticidas aplicados durante el día. En ese sentido, en soja se ha demostrado que la aplicación nocturna de los plaguicidas tiene una eficiencia muy superior a la de las aplicaciones diurnas. Obviamente, esta práctica también se recomienda en lotes de alfalfa con niveles de infestación que justifiquen el tratamiento.

## **Trips (Thysanoptera)**

En los últimos años se observó un aumento de las infestaciones de trips en lotes de alfalfa durante la etapa de emergencia y establecimiento del cultivo. Infestaciones severas han causado pérdida parcial o total de la población de plantas. Esta última situación está asociada a la presencia de altas poblaciones de trips durante el verano y principios del otoño en lotes de soja, cultivo al que ocasionan significativas disminuciones de rendimiento por daño severo al sistema foliar.

### **Características morfológicas y hábitos de vida**

Los trips son insectos muy pequeños, que miden en promedio 0,2 mm de ancho y 1-1,5 mm de largo y que poseen alas finas y plumosas, características del Orden Thysanoptera. El aparato bucal tiene forma de cono, con estiletes que les sirven para perforar y desgarrar los tejidos vegetales, a fin de absorber luego los jugos celulares de los que se alimenta. Entre la gran diversidad de especies de trips, la familia *Thripidae* es una de las más numerosas en cuanto a la inclusión de plagas agrícolas, siendo muy común observarlos en grandes cantidades en las inflorescencias de cultivos frutales, hortícolas y otros como algodón, trigo, maíz, sorgo, soja y alfalfa. Las hojas afectadas

de estos cultivos presentan una decoloración marcada como consecuencia de la destrucción de la clorofila.

La identificación preliminar de las especies causantes de daños en alfalfa señala como la más frecuente al trips del poroto, *Caliothrips phaseoli*, que presenta adultos de color negro con una pequeña banda blanca transversal y ninfas de color amarillento. También se han identificado especies de los géneros *Thrips* y *Frankliniella*. En cuanto a su biología, estos insectos alcanzan la adultez a los 20-25 desde la eclosión de los huevos y luego de haber pasado por una metamorfosis compleja.

## **Daños**

Durante el verano, las infestaciones de trips suelen alcanzar en soja altos niveles poblacionales, con densidades de hasta 150 folíolo<sup>-1</sup>. Esas poblaciones están compuestas principalmente por ninfas que, cuando llegan al estado adulto, migran hacia la alfalfa y otros cultivos. En alfalfa, el impacto del ataque depende de que se produzca sobre plantas desarrolladas o sobre plántulas/plantas jóvenes. En el primer caso, los ataques intensos pueden causar un alto nivel de daño dado que puede producirse sobre el cultivo una nueva generación de ninfas, que causarán una alta destrucción de clorofila en las hojas infestadas; sin embargo, se ha observado que altas infestaciones de trips en alfalfares establecidos, con severos síntomas de daño, no afectaron el rebrote posterior del cultivo. En el caso de ataques a plántulas o plantas jóvenes, si bien la infestación es causada exclusivamente por adultos, el daño severo al área foliar -por la destrucción de clorofila- puede retrasar seriamente el desarrollo de la planta o directamente causar su muerte.

En un estudio de laboratorio para la evaluación de daños de trips en alfalfa en INTA Marcos Juárez, se apreció que una infestación inicial de 2 trips plántula<sup>-1</sup> fue suficiente para dañar el 35,5% del área foliar. Una densidad de 4 trips plántula<sup>-1</sup> produjo la destrucción del 55% del área foliar a los 14 días de la siembra y una reducción del diámetro de la hoja unifoliada, que descendió de 10,4 mm en el testigo (sin trips) a 7,2 mm en las plántulas infestadas.

## **Control biológico**

Tanto en soja como en alfalfares establecidos, las ninfas de trips son presa de una gran diversidad de enemigos naturales como los hemípteros predadores *Geocoris spp.* (Lygaeidae) y *Nabis spp.* (Nabidae). También se han observado altas poblaciones de las diminutas chinches *Orius sp.* (Onthocoridae) consumiendo trips en etapas avanzadas de infestaciones de soja. Lamentablemente, estos predadores no suelen ser detectados sobre trips adultos atacando alfalfares nuevos, particularmente durante los primeros y más críticos días de la infestación.

## **Control químico**

El único insecticida registrado para el control de trips en alfalfa es Aldicarb, producto sistémico del grupo de los carbamatos que viene formulado como granulado y que debe ser distribuido e incorporado previamente a la siembra con laboreo mecánico del suelo, lo que lo inhabilita para un planteo de siembra directa. No obstante, si fuera necesario aplicarlo en un sistema de implantación convencional, las dosis y otros detalles de uso pueden ser consultados en la Guía de Productos Fitosanitarios, CASAFE (2005). En cualquier caso, debe tenerse en cuenta que este insecticida posee una droga técnica de muy

alta toxicidad y que -aun cuando su peligrosidad disminuye en las formulaciones comerciales- debe manejarse con sumo cuidado. Una alternativa para el control de trips en sistemas de siembra directa es la aplicación en cobertura total de insecticidas organofosforados sistémicos que hayan sido registrados para control de pulgones y tucuras en alfalfa.

## **Babosas (*Moluscos*, Clase *Gasteropoda*)**

Las babosas son plagas muy comunes en huertas y jardines, donde el ambiente húmedo y los abundantes residuos vegetales favorecen su proliferación. Las condiciones que crea la siembra directa han hecho que en los últimos años las poblaciones de esta plaga se hayan incrementado notablemente, provocando en no pocos casos severos daños en diversos cultivos agrícolas y forrajeros, en especial alfalfa. Los altos volúmenes de rastrojo de los cultivos antecesores y los elevados registros de precipitaciones en algunas regiones de nuestro país, como el sudeste de la provincia de Buenos Aires, han hecho que las densidades de la plaga se eleven hasta 50 babosas m<sup>-2</sup>.

### **Especies principales, características morfológicas y daños**

Las babosas pertenecen a numerosas familias entre las que pueden citarse a *Limacidae*, *Arionidae* y *Milacidae*, incluyendo una gran diversidad de especies adaptadas tanto a ambientes terrestres como acuáticos. Dentro de *Limacidae* se encuentra una de las especies de mayor difusión y peligrosidad como es la «gran babosa gris» (*Deroceras reticulatum*), que suele alcanzar los 3-3,5 cm de longitud, es de color gris a gris claro y segrega una mucosidad de color lechoso. A la misma familia pertenece también otra especie que se encuentra con cierta frecuencia: la «babosa gris chica», *Deroceras laeve*. Dentro de la familia *Arionidae* se ubica otra especie muy dañina que se denomina «babosa negra», *Arion hortensis*.

Las babosas presentan su mayor actividad a los 15-18° C y se inactivan a partir de los 5° C. Con una boca provista de dos mandíbulas y una lengua dentada (rádula), estos moluscos tienen una gran capacidad de consumo y destrucción de plantas jóvenes. Su cuerpo se mantiene húmedo gracias a su capacidad para segregar un mucus de consistencia viscosa que además les facilita el desplazamiento, pudiendo cubrir entre 5 y 6 metros por noche; precisamente, el rastro brillante que dejan en el suelo al desplazarse delata su presencia en el lote. Son de hábito nocturno, en especial en condiciones de alta humedad ambiental como en las noches posteriores a lluvias de importancia. En su vida pueden oviponer entre 100 y 500 huevos de forma esférica, transparentes o de tono amarillento, que colocan en pequeñas cavidades y grietas del suelo en grupos de 10 a 50. El número de generaciones anuales varía según la especie y las condiciones climáticas; por ejemplo, las babosas grises tienen 1 a 2 generaciones año<sup>-1</sup>.

### **Control biológico**

En Inglaterra, donde las babosas son plagas de gran importancia económica, se está evaluando intensamente la acción de un nemátode de la familia *Rhabtidae*, que presenta un alto potencial de control y del que ya se dispone de formulaciones comerciales. En nuestro país, todavía no se cuenta con ninguna experiencia al respecto.

Existe una gran diversidad de animales vertebrados que son citados como predadores



de moluscos, incluyendo mamíferos, anfibios, reptiles y aves. Entre los insectos, en Inglaterra también se han determinado como agentes de control biológico a larvas de moscas de la familia *Sciomyzidae* y a coleópteros carábidos de los géneros *Abax* y *Pterostichus*.

### **Estimación de poblaciones y técnicas de muestreo**

Para estimar las poblaciones de babosas se pueden utilizar diferentes métodos. Uno muy común es la distribución en el lote de recipientes de 200-250 cc, enterrados a nivel del suelo, que contienen atractivos como la cerveza. También se han desarrollado trampas que consisten en paños gruesos de 50 cm de lado que se fijan en el suelo y que cubren un cebo a base de Metaldehido. En cualquier caso, la observación de esos dispositivos a los 2-3 días de colocados permite establecer la presencia de la plaga. Los umbrales tentativos para decidir los tratamientos de control en los diferentes cultivos agrícolas y forrajeras se ubican alrededor de las 4-5 babosas m<sup>-2</sup>.

### **Control químico**

El Metaldehido es el único producto registrado en nuestro país para el control de moluscos. Actúa causando deshidratación y pérdida de la coordinación muscular. Es ligeramente tóxico para los animales de sangre caliente (categoría toxicológica III), pero formulado como cebo (uso comercial excluyente) no tiene efecto sobre los insectos benéficos. Actualmente, los cebos tóxicos comerciales se expenden como: a) tipo salvado: preparados al 1%, 1,5%, 3% y 6% de producto activo. Se emplean preferentemente en huertas y jardines, donde brindan muy buenos resultados distribuidos en pequeños montículos; y b) tipo pellets (tolerantes a lluvias): preparados al 5% de producto activo. Son utilizados en cultivos extensivos, donde -según experiencias locales y ensayos en Francia y Chile- dan buenos resultados por su poder residual. La cantidad de cebo a distribuir (pellets ha<sup>-1</sup>) varía de acuerdo con la cobertura de rastrojos, a la especie y a la población de babosas presentes y al cultivo de que se trate. La formulación incluye un colorante azul que disminuye su atracción hacia las aves (Guía de Productos Fitosanitarios, CASAFE, 2005).

### **Bicho Bolita (Isopoda: Crustacea)**

El bicho bolita es un habitante muy común en huertas y jardines, asociado a lugares húmedos y con material vegetal en descomposición del que puede alimentarse, contribuyendo al reciclado de nutrientes en el suelo. En los últimos años, estos crustáceos han incrementado su presencia en lotes manejados con siembra directa, en especial en los lugares bajos o las cañadas que tradicionalmente eran destinadas a la producción ganadera en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos. El uso creciente del riego complementario, que aumenta no sólo los niveles de humedad sino también la cantidad de rastrojos de los cultivos -particularmente trigo-, también favorece la proliferación de la plaga, a punto tal que, bajo esas condiciones, se han detectado en el área del INTA Manfredi infestaciones superiores a los 2000 individuos m<sup>-2</sup>.

En Córdoba y otras provincias vecinas existen numerosos casos de lotes de soja con daños muy severos en semillas, cotiledones y plantas jóvenes. Es frecuente que el daño parcial a las plántulas provoque su posterior caída como consecuencia de las heridas provocados por la plaga. En no pocos casos, la reducción significativa de la población de plantas obliga a la resiembra de los lotes. De acuerdo con observaciones de campo y a estudios preliminares, los cultivos agrícolas más susceptibles a los daños del bicho bolita son la soja y el girasol, en tanto que el maíz aparece como menos afectado. Con altas infestaciones de la plaga, la alfalfa en implantación puede sufrir también severos daños.

## Especies principales, características y daños

Hasta el presente, la especie más común identificada en la Región Pampeana es *Armadillidium vulgare*, que puede alcanzar los 15 mm de longitud. Menos frecuente es la especie *Porcelio laevis*, que llega a los 17 mm. Las hembras de *A. vulgare* dan nacimiento a grupos de hasta 70 individuos y pueden tener hasta 2 generaciones año<sup>-1</sup>.

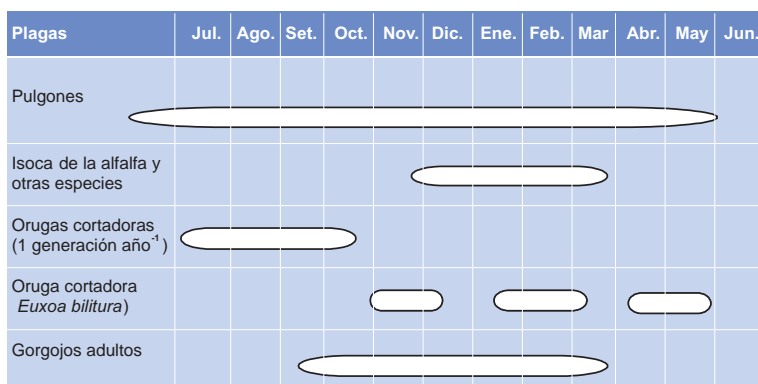
## Control

Sobre la base de lo expresado en párrafos anteriores, una medida cultural para disminuir la proliferación del bicho bolita es la distribución uniforme de los rastros, impidiendo su acumulación en sectores del terreno. Esto también puede tener un efecto beneficioso para disminuir las poblaciones de orugas cortadoras y babosas. Las técnicas de muestreo para estimar las poblaciones de bicho bolita se basan en la observación directa y son similares a las recomendadas para otras plagas de suelo. El control químico se realiza mediante cebos comerciales a base de Carbaryl, insecticida de baja toxicidad para los animales de sangre caliente. También pueden prepararse en el campo cebos con soja partida y muy bajas concentraciones del insecticida Fipronil. En ambos casos, el empleo de estos cebos reviste un bajo impacto ambiental.

## Consideraciones finales

Un eficiente manejo de las plagas de la alfalfa debe basarse en el uso de variedades resistentes, la determinación de muestreos periódico para estimar la evolución de las poblaciones de cada insecto a lo largo del año (Figura 5) y la consideración de los umbrales de daño económico. En estos dos últimos aspectos, la utilización de la red de arrastre o las técnicas de conteo de insectos indicadas en cada caso aparecen como herramientas fundamentales para el uso racional de los insecticidas (45).

Con esas premisas, en la EEA Marcos Juárez se ha podido conseguir una muy alta productividad en variedades sin reposo invernal con tan sólo 1 o 2 aplicaciones anuales de insecticidas para el control de *C. lesbia*. En forma similar, en la EEA Rafaela se logró mantener al cultivo de alfalfa libre de daño de plagas con un promedio de sólo 0,8 a 1 aplicación anual (35, 36). En las zonas sur y sudoeste de Córdoba, en función de la mayor presencia de orugas cortadoras y del complejo de gorgojos, la correcta protección de las pasturas base alfalfa puede requerir 1 o 2 aplicaciones adicionales, dependiendo de las campañas y las localidades.



**FIGURA 5** – Representación esquemática de las épocas más probables de ataque de las principales plagas de insectos que atacan a la alfalfa en la Región Pampeana.

## Bibliografía

1. ALLEN W. W. and R. F. SMITH. 1958. Some factors influencing the efficiency of *Apanteles medicaginis* (Hymenoptera: Braconidae) as a parasite of the alfalfa caterpillar *Colias philodice eurytheme* Boisduval. *Hilgardia* 28 (1): 1-42.
2. AHMAD, B. 1974. Studies on *Graphognathus leucoloma* and its natural enemies in the Central Provinces of Argentina. Commonwealth Agricultural Bureaux, Commonwealth Institute of Biological Control. Tech. Bull N° 17, pp. 19-28.
3. ARAGON, J. R. 1994. Enemigos naturales «claves» de la oruga de la alfalfa (*Coliaslesbia*) en Córdoba, Argentina. In: 4° SICONBIOL. Simposio Control Biológico. EMBRAPA IC PACT, Pelotas, RS. Gramados, RS, Brasil. 15-20/5/94, p. 213.
4. ARAGON, J. R. 1993. Desarrollo e implementación de manejo integrado de plagas de alfalfa. INTA-EEA. Marcos Juárez (Arg.). Informe Plan de Trabajo. 5 p. (Inédito).
5. ARAGON, J. R. 1984. Control de las principales orugas cortadoras de la alfalfa. INTA-EEA. Marcos Juárez. (Arg.) Inf. para Extensión. Serie: Producción Vegetal, 5 p.
6. ARAGON, J. R. y D. G. HARCOURT. 1975a. Determinación de la población y mortalidad durante los estados de huevo y de larva de *Colias lesbia* (F.) (Lepidoptera: Pieridae) en alfalfa. RIA Serie 5: Patología Vegetal 12 (4): 217-226.
7. ARAGON, J. R. y D. G. HARCOURT. 1975b. Distribución espacial de los huevos y larvas de *Colias lesbia* (Fab.) (Lepidoptera: Pieridae) en alfalfa. RIA Serie 5: Patología Vegetal 12 (4): 205-215.
8. BACON, O. G. Et al. 1973. Pest and disease control program for alfalfa hay. California Agricultural Exp. St. Ext. Serv., 18 p.
9. BLAKELEY, P. E. and L. A. JACOBSON. 1960. Effect of temperature, humidity, and larval weight on the duration of prepupal and pupal stages of the pale western cutworm *Agrotis orthogonia* Morr. (Lepidoptera:Noctuidae). *Can. Ent.* 92: 161-163.
10. BREWER, M. y L. VARAS. 1973. Contribución al conocimiento de la sistemática y comportamiento de los gorgojos (Coleoptera: Curculionidae) perjudiciales para la alfalfa. RIA Serie 5: Patología Vegetal 10 (1): 55-97.
11. BREWER, M. y L. VARAS. 1975. Gorgojos de la alfalfa. Sistemática y curvas poblacionales de *Thichonaupacius densius* y *Priocyphus bosqui* (Coleop.:Curculionidae). Physis Sec. 34-88: 41-32.
12. CAMPBELL, A. and M. MAC KAUER. 1975. The effect of parasitism by *Aphidius smithi* (Hymenoptera: Aphididae) on reproduction and population growth of the pea aphid (Homoptera:Aphididae). *Can Entomol.* 107: 919-926.
13. CHIESA MOLINARI, O. 1968. Investigaciones sobre biología de *Colias lesbia* Fab. y su control. INTA EEA Manfredi (Arg.) Inf. Téc. N° 12, 16 p.
14. CHILDERS, C. C. and G. C. ROCK. 1978. Observations on the occurrence and feeding habits of *Balaustium pumani* (Acari:Erythraeidae) in North Carolina apple orchards. *Internat. J. Acarol.* 7: 63-68.
15. COSCARON, M. del C. and S. P. STOCK 1994. Enemigos naturales y control biológico. In: A. A. Lanteri (ed) Bases para el control integrado de los gorgojos de la alfalfa. U.N. de La Plata. Ediciones De La Campana. La Plata, Argentina, Cap. 5, pp. 73-86.
16. CRUMB, S. E. 1956. The larvae of the Phalaenidae. U.S: Department of Agriculture. Tech. Bull. N° 1135.
17. CRUMB, S. E. 1929. Tobacco cutworm. U.S: Department of Agriculture. Tech. Bull. N° 88, 179 p.
18. DICKSON, E. A., C. M. LEACH and A. E. GROSS. 1968. Clover root curculio injury and vascular decay on alfalfa roots. *J. Econ. Entomology.* 61: 1163-68.
19. DICKSON, R. C. 1975. Identity, origin and host range of the blue alfalfa aphid. In: 5th California Alfalfa Symposium, Fresno, pp. 22-23.
20. EAST, R. R. and J. PARR. 1977. Chemical control of white fringed weevil in lucerne. In: Proc. 30<sup>th</sup> New Zealand Weed and Pest Control Conf., pp. 50-55.
21. EAST, R. R. D. WELSH and C. M. MILLER. 1975. Control of white-fringed weevil adults with insecticides. In: Proc. 28th New Zealand Weed and Pest Control Conf. pp. 213-216.
22. ESPUL, J. C. y M. F. GARCIA. 1981. Bioecología de *Euxoa bilitura* (gusano cortador de la papa). RIA 16 (2): 215-240.
23. FREZZI, M. J. 1972. Dos hongos entomógenos y tres insectos entomófagos. Valiosos auxiliares en la Argentina para el control biológico del pulgón de la alfalfa (*Acyrtosiphon pisum* Harris). IDIA N° 291: 21-30.

24. GORDH, G. 1981. The phenomenon of insect hyperparasitism and its taxonomic occurrence in the insecta. *In: The role of hyperparasitism in biological control. A Symposium. Univ. Of California, Cap. 1, pp. 10-18.*
25. GROSS, H. R. and D. P. HARLAN. 1975. Evaluation of preventive adulticide treatments for control of whitefringed beetles. *J. Econ. Entomol.* 68 (3): 366-368.
26. HAGEN, K. S. and E. I. SCHLINGER. 1960. Imported Indian parasite of the pea aphid established in California. *Calif. Agric.* 14: 5-6.
27. HARCOURT, D. G. 1970. Crop life tables as pest management tool. *Can. Entomol.* 102 (8): 950-955.
28. HARCOURT, D. G.; J. R. ARAGON y R. GONZALEZ. 1986. Plagas de la alfalfa. *In: C. Bariggi, V. L. Marble, C. D. Itria y J. M. Brun (ed.). Investigación, Tecnología y Producción de Alfalfa. INTA. Colección Científica, T. XXII. Buenos Aires, Cap. 7, pp. 183-221.*
29. CURVETTO R. y J. C. VES LOSADA 1980. Estimación de las poblaciones de *Colias lesbia* (Fab.) (Lepidoptera:Pieridae) en estado de pupa. *Revista de Investigaciones Agropecuarias. Serie 5: Patología Vegetal (Argentina)* 15 (4): 593-599.
30. HARCOURT D. G. R. PARISI y J. R. ARAGON. 1980. Plan de decisión secuencial para el manejo de *Colias lesbia* (Fab.) en alfalfa. *RIA Serie 5 Patología Vegetal* 15 (4): 539-548.
31. HARPER, A. M. 1972. The pea aphid. Edmond. Alberta. Department of Agriculture. Bull. N° 622, 7 p.
32. HARRIS, C. R. 1969. Insecticide pollution and soil organisms. Research Institute Canada Department of Agriculture, London, Ontario. Contribution N° 436, pp. 14-28.
33. HARRIS, C. R. and S. A. TURNBULL. 1978. Laboratory studies on the contact toxicity and activity in soil of four pyrethroid insecticides. *Can. Ent.* 110: 285-288.
34. HARRIS, C. R., H. J. SUEC and R. A. CHAPMAN. 1978 Potential of pyrethroids insecticide for cutworm control. *Entomol* 71: 692-96.
35. IMWILKELRIED J. M. 1993. Avances en el control integrado de plagas de alfalfa. *In: IV Jornadas Nacionales de Alfalfa. I Simposio Nacional de Alfalfa. Resúmenes. Villa María. Córdoba, Argentina, Octubre 20-22, p. 47.*
36. IMWILKELRIED J. M.; R. ALBRECHT; C. SALTO, R. ZHEUDER y A. GALETTO. 1992. Implementación de una estrategia para el control integrado de plagas de la alfalfa en un área restringida de la provincia de Santa Fe. *INTA EEA Rafaela. Agronomía. Inf. para Ext. N° 151, 4 p.*
37. IMWILKELRIED J. M. y C. SALTO. 1994. Biotipo del pulgón azul de la alfalfa *Acyrtosiphon kondoi* (Homoptera: Aphididae) en la Argentina. *INTA EEA Rafaela. Agronomía. Inf. para Ext. N° 172, 2 p.*
38. IMWILKELRIED J. M. y C. SALTO. 1993. Evaluación de daño del pulgón azul *Acyrtosiphon kondoi* en cuatro cultivares de alfalfa con resistencia genética. *INTA EEA Rafaela. Agronomía. Inf. para Extensión N° 163, 3p.*
39. IMWILKELRIED J. M., C. SALTO y R. ALBRECHT. 1992. Evaluación de insecticidas a base de *Bacillus thuringiensis* para el control de *Colias lesbia* (F). *INTA EEA Rafaela. Agronomía. Inf. para Extensión N° 152, 5 p.*
40. INTA. 1977. Un nuevo pulgón daña los cultivos de alfalfa. Buenos Aires, Depto. Comunicaciones. Comunicado de Prensa N° 1496, 3 p.
41. INTA. 1975. Lucha biológica contra el pulgón de la alfalfa. Buenos Aires, Depto. Comunicaciones. Comunicado de Prensa N° 1372, 3 p.
42. ITRIA, C. D. 1969. La Alfalfa en la República Argentina. I: Factores que disminuyen el rendimiento y duración en los cultivos. II: Contribución a la bibliografía nacional sobre alfalfa. *IDIA Supl. N° 21, 82 p.*
43. ITRIA, C. D. 1964. Los gorgojos de la alfalfa. Grandes plagas de los alfalfares de la región semiárida. *INTA EEA Anguil. Cir. Ext. N° 21, s/p.*
44. ITRIA, C. D. y E. A. TAPIA. 1970. El pulgón *Acyrtosiphon pisum* Harris, plaga muy dañina para la alfalfa en la República Argentina. *IDIA N 275: 13:22.*
45. JOHANSEN, C. A. and J. D. EVES. 1973. Development of Pest Management Program on Alfalfa Grown for Seed. *Environ. Entomol.* 2 (4): 515-517.
46. KENNEDY, J. D. and H. L. G. STROYAN. 1959. Biology of aphids. *Ann. Rev. of Entomol.* 4: 139-160.
47. KONO, T. 1977. Distribution and identification of blue alfalfa aphid *Acyrtosiphon kondoi* Shinji (Homoptera:Aphididae). *US. Dept. of Agric. Coop. Washington, D.C., USA. Plant Pest. Rep.* 2: 153-156.

48. LANTERI, A. A. y J. R. ARAGON. 1994. Dinámica poblacional y métodos de control. *In*: A. A. Lanteri (ed) Bases para el control integrado de los gorgojos de la alfalfa. U.N. de La Plata. Ediciones De La Campana . La Plata, Argentina, Cap. 4, pp. 57-72.
49. LIMONTI, M. y D. G. HARCOURT. 1978-79. Distribución espacial de los gorgojos de la alfalfa. (Coleoptera: Curculionidae) en alfalfa. RIA Serie 5: Patología Vegetal 14 (1): 1-12.
50. LOICANO, M. S. 1982. Un nuevo platigástrido (Hymenop.:Platigastridae) criado en huevos de *Naupactus xanthographus* Germ. (Coleoptera:Curculionadae). Rev. Soc. Ent. Arg. 41 (1-4): 85-88.
51. MANGLITZ, G. R., W. R. KEHR, D. L. KEITH, J. M. MUEKE, J. B. CAMPBELL, R. L. OGDEN and T. P. MILLER. 1980. Alfalfa insect management studies. 1977-77. University of Nebraska. Research Bull. N 293, 36 p.
52. MARGHERITIS, A. E. y H. F. E. RIZZO. 1965. Lepidópteros de interés agrícola. Sudamericana, Buenos Aires, 193 p.
53. PARISI, R. 1977. Segunda Reunión del Equipo de Entomología. Programa Alfalfa. Proyecto Alfalfa FAO- INTA Arg. 71/548, 10 p. (inédito).
54. PAULOS DE LUNA, A. 1977. Diferenciación de las dos especies principales de pulgones que dañan a la alfalfa en la Argentina. INTA. Hoja Informativa Alfalfa 2 (2): 1-11.
55. RADCLIFE, E. B.; R. W. WEIRES, R. E. STUCKER and D. K. BARNES. 1976. Influence of cultivars and pesticides on pea aphid, spotted alfalfa aphid and associated arthropod taxa in a Minnesota alfalfa ecosystem. *Envir. Entomol.* 5 (6): 1195-1207.
56. RIPA, S. R. 1979. Los gusanos cortadores *Euxoa bilitura* y *Euxoa lutescens* (Lep.:Noctuidae). I. Estudios de poblaciones y oviposición en campo. *Agric. Téc.* 39 (4): 139-44.
57. ROSSANIGO, R. y F. B. de MENEGHETTI. 1991. Cultivares de Alfalfa. *In*: Alfalfa. INTA EEA Marcos Juárez. Proyecto AMCPAG, pp. 4-14.
58. SANTIS, L. D. de. 1967. Catálogo de los Himenópteros Argentinos de la Serie Parasítica, incluyendo Bethyloidea. Comisión de Investigaciones Científicas Prov. de Buenos Aires. La Plata, Argentina, 337 p.
59. SANTIS, L. D. de. 1979. Catálogo de los Himenopteros Chalcidoideos de América del Sur y de los Estados Unidos. Comisión de Investigaciones Científicas Prov. de Buenos Aires. La Plata, Argentina, s/p.
60. SANTORO de CROUZEL, I., R. J. SALAVIN y M. G. ARCE. 1969. Sobre los enemigos naturales de «isoca de la alfalfa», *Colias lesbia* (F) (Lepidoptera:Pieridae). CNIA INTA Cautelar. Instituto de Patología Vegetal. Hoja Informativa N° 35, s/p.
61. SANTORO de CROUZEL, I., R. J. SALAVIN y D. R. de BASALDUA. 1968. Estudio morfológico en estados larvales de «isocas de la alfalfa» *Colias lesbia* (F.) RIA Serie 5: Patología Vegetal 5 (10): 113-138.
62. SANTORO de CROUZEL, I. y E. BOTTO. 1977. 3° Reunión equipo de Entomología. Programa Alfalfa. Proyecto Alfalfa FAO-INTA Argentina. 71/548, 15 p. (inédito).
63. SCHLINGER, E. I. and E. I. DIETRICK. 1960. Biological control of insect pest aided by strip-farming alfalfa in experimental program. *Calif. Agric.* 1: 8-9.
64. SHARMA, R. K., V. M. STERN and R. W. HAGEMANN. 1976. Blue alfalfa aphid. A new pest in the Imperial Valley. *Calif. Agric.* 30: 14-15.
65. STEINHAUS, E. A. 1948. Polyhedrosis («wilt disease») of the alfalfa caterpillar. *J.Econ. Entom.* 41: 859-865.
66. STERN, V. M. 1965. Significance of the economic threshold in integrated pest control. *In*: Proc. FAO Symp. Integrated Control 2: 41-56.
67. STERN, V. M. and W. BOWEN. 1963. Ecological Studies of *Trichogramma semifumatum*, with note in *Apanteles medicaginis* and their suppression of *Colias eurytheme* in Southern California. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 56: 358-71.
68. STERN, V. M., R. F. SMITH, R. VAN DER BOSCH and K. S. HAGEN. 1959. The integrated control concept. *Hilgardia* 29 (2): 81.
69. STERN, V. M., R. SHARMA and C. SUMMERS. 1980. Alfalfa damage from *Acythosiphon kondoi* and economic threshold studies in Southern California. *Entomol.* 73 (1): 145-148.
70. STOCK, S. P. 1991a. Contribución al estudio de Nematodos parásitos de Insectos Coleópteros del Distrito Pampeano. Tesis Doctoral N° 581. Fac. de Ciencias Naturales y Museo. U. N. de La Plata.
71. STOCK, S. P. 1991b. *Rhabditis esperancencis* sp. (Nematoda: Rhabditidae) parásito de larvas de *Graphognathus leucoloma* (Bch) (Coleoptera:Curculionidae). *Revis.Iber. Parasit.* 50 (3-4): 277-280.



72. SULLIVAN, D. .G. 1987. Insect hyperparasitism . Ann. Rev. Entomol. 32: 49-70.
73. VAN DER BOSCH, R., I. SCHLINGER, C. LAGACE and J. C. HALL. 1966. Parasitization of *Acyrtosiphon pisum* by *Aphidius smithi*, a density dependent process in nature. Ecology 47: 1048-1054.
74. VINCINI, A .M., A. N. LOPEZ y D. SISTI. 1984. El pulgón manchado de la alfalfa, *Therioaphis trifolii* (Monell): nueva plaga de los alfalfares argentinos. INTA EEA Balcarce Inf. Téc., 6 p.
75. WILDING, N. 1973. The survival of *Entomophthora spp.* In mummified aphids at different temperatures humidities. J. Invertebrate Pathology 21:309-311.



## Malezas de la alfalfa

*Ing. Agr. Nicasio Rodríguez*  
EEA Anguil-INTA  
*Ing. Agr. (MSc) Héctor Rainero,*  
*Prof. Cs. Nat. Nora Rodríguez,*  
EEA Manfredi-INTA  
*Ing. Agr. (MSc) Mario Vigna,*  
*Ing. Agr. Ricardo López,*  
EEA Bordenave-INTA  
*Ing. Agr. Carolina Istilart*  
Chacra Experimental de Barrow  
*Ing. Agr. Jorgelina Montoya*  
EEA Anguil-INTA

*Los autores desean expresar su agradecimiento a la importante colaboración para la elaboración de este capítulo brindada por el Ing. Agr. Roberto Rossanigo (Forage Genetics Argentina S.R.L.).*



## Introducción

En las zonas semiárida y subhúmeda de la Región Pampeana, los sistemas de producción son en general ganaderos-agrícolas o agrícolas-ganaderos e incluyen rotaciones de cultivos anuales y pasturas perennes. En su mayoría, las pasturas se basan en la alfalfa asociada con gramíneas. Si bien el objetivo principal de las pasturas es la producción de forraje, no resulta menos importante la función que cumplen en la recuperación y el mantenimiento de la fertilidad nitrogenada y en la restauración de la estructura de los suelos.

En el manejo de la pastura están involucrados dos tipos de comunidades vegetales: uno artificial, que es la pastura en sí misma, y otro natural, compuesto por el grupo de especies adventicias (malezas). Ambas comunidades interactúan entre sí durante el desarrollo y la vida útil de la pastura, a punto tal que altas infestaciones de malezas pueden reducir los rendimientos y/o causar pérdidas de plantas de alfalfa durante la implantación. En otros casos, una elevada presión de malezas durante el establecimiento debilita las plántulas de alfalfa, retardando su crecimiento y retrasando el primer corte o pastoreo. En ese contexto, disminuye también la calidad del forraje debido a que las malezas son generalmente de menor valor nutritivo, menor palatabilidad y -en algunos casos- tóxicas para el ganado.

Aunque los cultivos de alfalfa se ven usualmente infestados en diferente grado por numerosas malezas, la práctica del control químico no ha sido tradicionalmente muy intensa. Sin embargo, durante los últimos años se ha experimentado un incremento en el uso de herbicidas. Por ejemplo, sobre un total de 750.000 ha de pasturas registradas en la provincia de La Pampa durante 1999, al área tratada con herbicidas alcanzó las 120.000 ha en implantación y 235.000 ha en pasturas de más de 1 año (9).

La identificación de las especies de malezas presentes y su grado de abundancia son de fundamental importancia para la implementación de prácticas adecuadas de manejo. Para esta problemática -que se reitera año tras año en cada ciclo de implantación o utilización de las pasturas perennes- el productor se enfrenta a diversos escenarios, que varían de acuerdo con la calidad y la cantidad de los componentes (pastura y malezas) y que, en la mayoría de los casos, son muy difíciles de prever. Por ejemplo, en el período de implantación de la alfalfa es común encontrar especies de malezas de hábito de crecimiento anual otoño-invernal, con predominio de Brassicáceas tales como nabo, nabón, nabillo y bolsa del pastor (Figura 1). En otros casos, las anteriores son acompañadas por especies de Asteráceas, como cardos, abrepunzo y algodónosa (Figura 1). En muchas otras oportunidades, se pueden agregar a las anteriores altas densidades de ortiga mansa, sanguinaria, enredadera anual, verónica, apio cimarrón, manzanilla, violeta silvestre, rama negra, capiquí, etc. En alfalfares establecidos comienzan a crecer en importancia las malezas de hábito perenne, como gramón, pasto puna, sorgo de Alepo y yuyo esqueleto (*Nota: los nombres científicos de las especies de malezas citadas en este capítulo pueden consultarse en el Anexo incluido al final*).

En consecuencia, el sistema adventicio natural constituye un conglomerado de diversas especies anuales y perennes con hábitos de crecimiento otoñal, invierno-primaveral y primavero-estival. Si bien el desarrollo y la abundancia de cada una varía principalmente en función de los bancos de semilla presentes en el suelo y de su potencial reproductivo, los sistemas de labranza y las prácticas de manejo de los cultivos también pueden alterar profundamente la dinámica de las poblaciones de malezas, haciendo que predominen unas sobre otras o propiciando la aparición de malezas foráneas (2, 1). En este sentido se ha observado en los últimos años el aumento en muchas zonas de las poblaciones de rama negra, algodónosa, achicoria de campo, violeta silvestre y de algunas gramíneas anuales, como roseta, pasto cuaresma y cebadilla criolla. Obviamente, estos cambios originan nuevas problemáticas, para las que no siempre hay disponibles soluciones concretas e inmediatas; en esas instancias, se hace imprescindible el desarrollo de nuevas líneas de investigación.





**FIGURA 1** - Lote de alfalfa enmalezado con predominio de algodonosa y bolsa de pastor.

## Interacción entre pastura y malezas

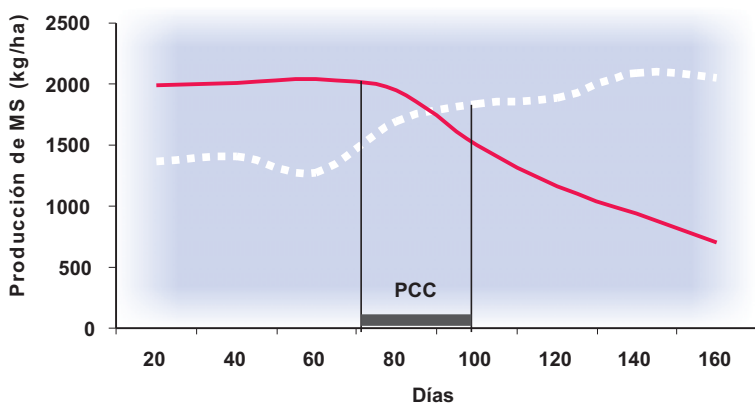
Entre todos los factores que regulan la interacción del subsistema *pastura* con el subsistema *malezas*, el tamaño relativo de las especies, con su consiguiente impacto sobre la interferencia de los recursos ambientales, adquiere una destacada importancia. Se ha demostrado que durante la implantación de una pastura, cualquiera que sea el nivel de invasión de malezas, existe un **período crítico de competencia (PCC)** por parte de éstas sobre aquélla. El PCC se define como el lapso en la vida de la pastura en el que ésta debe mantenerse necesariamente libre de malezas a fin de no disminuir su rendimiento de forraje. Este período de tiempo aporta cierto grado de

flexibilidad al momento de ejecución de las acciones de intervención directa o indirecta en el sistema productivo (26, 25).

Si bien las pasturas pueden convivir con las malezas durante cierto tiempo sin sufrir mayores daños, llega un momento en el que deben realizarse acciones para limitar o eliminar el crecimiento de las especies adventicias si no se quiere perjudicar la productividad de forraje (5). Ese intervalo o PCC, que define el momento de intervención, varía con las zonas agroclimáticas y la presión de malezas existente. Como orientación puede decirse que, en líneas generales, el PCC en la Región Pampeana se ubica entre los 70-100 días para la Zona Semiárida y los 40-80 días en la Zona Subhúmeda, contando siempre desde la emergencia de la pastura. Lógicamente, la definición del PCC depende también de las especies de malezas que estén presentes, de las condiciones climáticas y de la calidad de suelos.

Los valores de PCC consignados en el párrafo anterior surgieron de ensayos experimentales conducidos en unidades del INTA. En uno de ellos, Rodríguez y col. (22) condujeron durante 3 años en la EEA Anguil (Zona Semiárida) evaluaciones de competencia durante la implantación de pasturas de alfalfa pura en un lote con una elevada presión (80%) de malezas, principalmente ortiga mansa. El trabajo concluyó que era crítico mantener a la pastura libre de malezas entre los 80 y los 110 días desde la emergencia (Figura 2).

Estudios similares conducidos por M. Pérez (*comunicación personal*) en la EEA INTA- General Villegas (Zona Subhúmeda), sobre una pastura de alfalfa con presencia de ortiga mansa (20%), verónica (20%), enredadera (13%), capiquí (13,3%), nabo (6%) y violeta silvestre (6,7%), concluyeron que en ese ambiente el PCC se ubicó entre los 40 y los 80 días desde la emergencia (Figura 3).



**FIGURA 2** – Determinación del período crítico de competencia (PCC) de malezas en pasturas de alfalfa sobre la base de ensayos conducidos en la EEA Anguil-INTA. Adaptado de Rodríguez y col. (22).

La capacidad del subsistema malezas para provocar interferencia y competencia sobre la pastura está en relación directa con el tipo y la densidad de las especies que lo componen. Si bien hay especies que ejercen poca competencia, hay otras que por sus hábitos de crecimiento y su tamaño relativo se tornan altamente competitivas, aún a bajas densidades, especialmente cuando encuentran condiciones muy favora-

bles para su desarrollo; entre estas últimas se puede citar al capiquí, al nabón y a la rama negra. Estas particularidades hacen que sea difícil la comparación entre diferentes subsistemas y, por ende, la predicción de las pérdidas causadas por las malezas.

Un método indirecto para medir el efecto nocivo de las especies individuales de malezas es examinar su desarrollo y usar el tamaño como una estimación de su competitividad. De esta forma es posible obtener una categorización de las malezas en función de su tamaño relativo (relación peso fresco), y luego desarrollar índices que permitan dimensionar su capacidad competitiva en relación con una especie de maleza tomada como patrón (estándar). Posteriormente, correlacionando las categorías de competitividad con las densidades poblacionales se estima la denominada **unidad maleza**, concepto que a su vez guarda relación con la pérdida de productividad de forraje (Figura 4).

Otra forma más práctica y expeditiva que calcular las unidades maleza es la utilización del concepto de la **presión de malezas** que, sobre la base de observaciones visuales del área foliar, estima el porcentaje en que la maleza contribuye al volumen total de la asociación maleza-cultivo. Al igual que en el caso anterior, la presión de malezas también se puede relacionar con las pérdidas de rendimiento del cultivo. De esa manera, Rodríguez y col. (25), analizando 103 casos, concluyeron que aun con presiones de malezas relativamente bajas, en el orden del 5% al 35%, se podía reducir la producción de forraje hasta en 70% (Figura 5).

El daño de las malezas también se puede cuantificar a través de la respuesta a la aplicación de herbicidas específicos frente al comportamiento del testigo sin tratar. Tal es el caso de lo realizado por Istilart (6), quien, promediando los resultados de 12 ensayos de control químico efectuados en el área de influencia de la Chacra Experimental Integrada (CEI) Barrow (Buenos Aires), concluyó que el control de malezas puede hasta duplicar los rendimientos de forraje de pasturas consociadas (Figura 6).

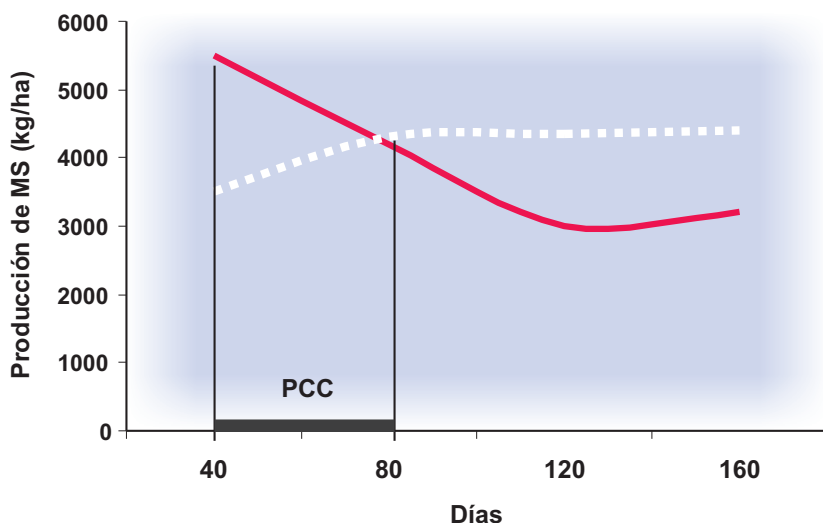


FIGURA 3 – Determinación del período crítico de competencia (PCC) de malezas en pasturas de alfalfa basados en ensayos conducidos en la EEA General Villegas-INTA. Ing. Agr. Marta Pérez (comunicación personal).

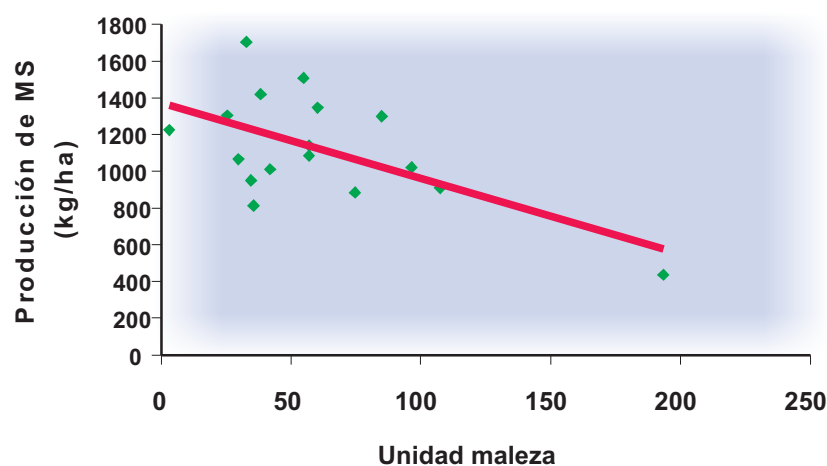


FIGURA 4 – Disminución de la producción de materia seca (kg MS ha<sup>-1</sup>) de la alfalfa en función de las unidades de malezas.

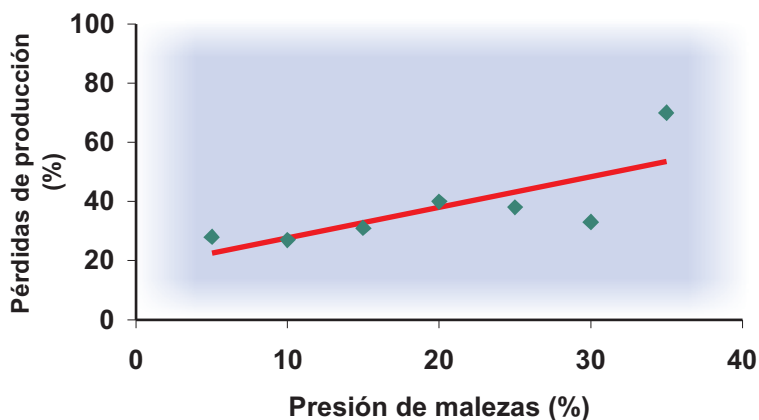


FIGURA 5 – Disminución porcentual de la productividad de forraje de alfalfa en función del aumento de la presión de malezas (%).

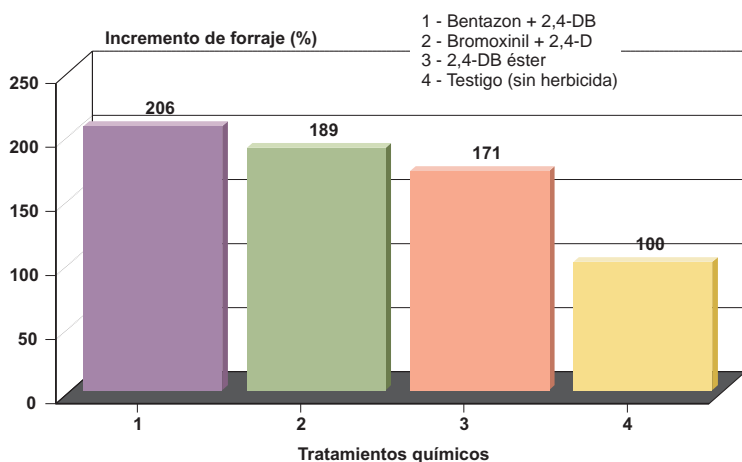


FIGURA 6 – Efecto del control químico de malezas latifoliadas y su contribución al aumento de rendimiento de forraje de pasturas consociadas en relación con un testigo sin tratar. Adaptado de Istilart (6).

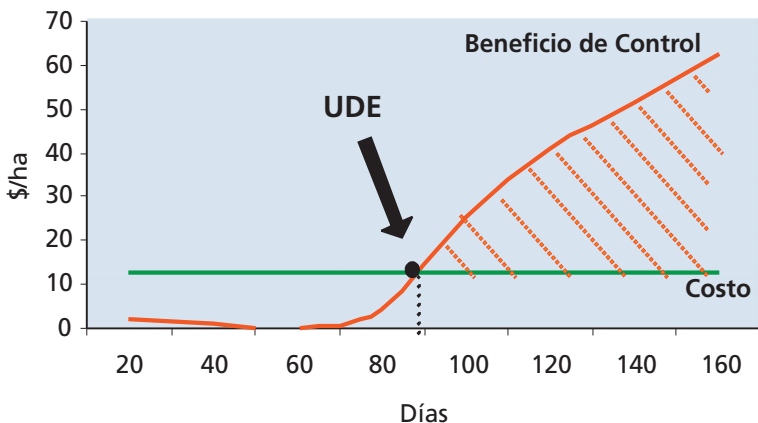


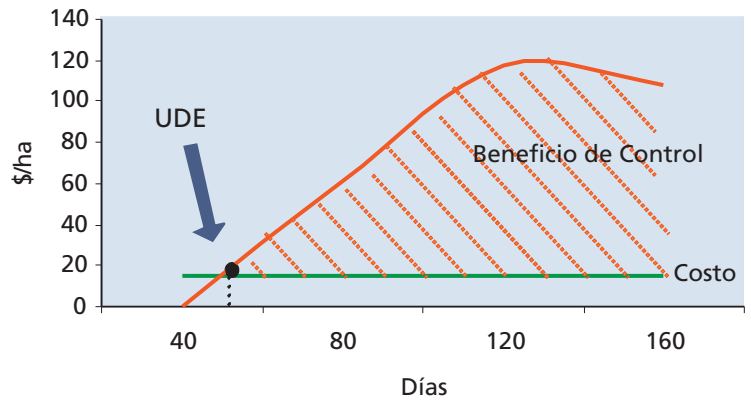
FIGURA 7 – Determinación del umbral de daño económico (UDE) para el control de malezas en pasturas de alfalfa sobre la base de ensayos conducidos en la EEA Anguil - INTA. Adaptado de Rodríguez y col. (22).

## Umbral de daño económico (UDE)

El umbral de daño económico (UDE) es el momento a partir del cual el beneficio obtenido por controlar las malezas supera al propio costo de control (12). La realización de los tratamientos basados en este concepto permite no sólo obtener beneficios productivos sino también económicos. En la mayoría de los casos el UDE coincide en forma práctica con el PCC, aunque se pueden presentar variaciones inducidas por el costo de los tratamientos o por el valor del producto animal (carne o leche).

Utilizando la información proporcionada por los ya comentados ensayos de determinación de PCC (Figuras 2 y 3), se analizaron dos alternativas de control químico y se calculó el UDE tanto para Anguil (Figura 7) como para General Villegas (Figura 8). Las variables incluidas fueron los costos de los tratamientos con herbicidas (productos y aplicación), el valor del kg de carne y el índice de conversión de MS de forraje a kg de carne. En ambas figuras se aprecia la curva de *beneficio de control*, que equivale a la posible pérdida económica que se produciría si no se controlaran las malezas a partir de un cierto período posterior a la emergencia de la pastura. En estos casos particulares, el beneficio expresa el valor de la producción (kg carne ha<sup>-1</sup>) obtenida a partir del tratamiento. El UDE se ubica en el punto en el que la curva de beneficio de control intercepta a la línea de costo de control, indicando el momento a partir del cual la ausencia de tratamiento provocaría pérdidas mayores a las del costo de aplicación. Dicho de otra manera: el valor de

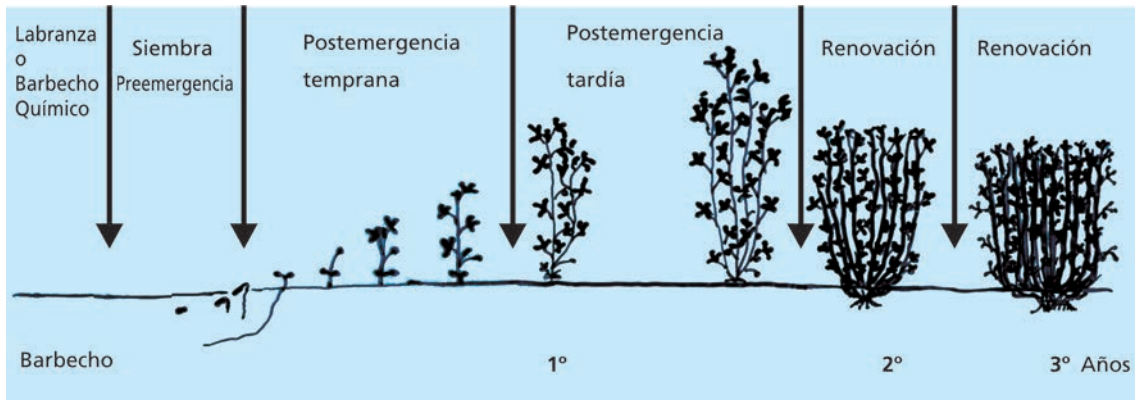
la producción obtenida a partir del control justifica las erogaciones para su implementación; si se realizaran tratamientos anteriores al UDE, los beneficios obtenidos serían menores a los que se producirían con intervenciones en el momento oportuno.



## Estrategias de intervención

Durante la vida de la pastura podemos definir distintos momentos o *ventanas* de intervención (Figura 9), que podrán requerir distintas acciones de implementación de acuerdo con las necesidades propias de cada una de ellas.

**FIGURA 8** - Determinación del umbral de daño económico (UDE) para el control de malezas en pasturas de alfalfa basado en ensayos conducidos en la EEA General Villegas - INTA. Ing. Agr. Marta Pérez (comunicación personal).



**FIGURA 9** - Ventanas de intervención durante la vida de una pastura de alfalfa.

El control de las malezas debe ser considerado desde el momento de la selección del lote donde se sembrará la pastura. Lotes infestados con malezas perennes -como cebollín, gramón, sorgo de Alepo y pasto puna- suelen complicar el manejo posterior de la pastura, especialmente si la alfalfa se asocia con gramíneas como festuca (*Festuca arundinacea* Schreber), cebadilla criolla (*Bromus catharticus* Vahl.), pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.), etc. (16, 15). Tras la elección del lote, debe realizarse un período de barbecho a fin de acumular suficiente humedad, promover el reciclado de nutrientes y controlar las malezas que se presenten.

### Ventana de barbecho

Bajo sistemas de siembra convencional es posible eliminar las malezas con una labranza y posteriores repasos, de acuerdo con las necesidades. En sistemas de siembra directa ese control se hace con herbicidas de acción total, sean éstos de contacto (paraquat) o sistémicos (glifosato), y aplicados solos o en mezclas con otros herbicidas (como 2,4-D). También se pueden aplicar herbicidas de acción residual, como flumetsulam o trifluralina fotoestable; estos últimos, que actúan una vez aplicados al suelo, ejercen su efecto herbicida durante un tiempo variable según condiciones climáticas, tipo de suelo, dosis usada, etc. Igualmente, poco antes de la siembra de la pastura, se pueden realizar pulverizaciones de diflufenican (50 a 70 cc ha<sup>-1</sup>) o flumetsulam (150 a 300 cc ha<sup>-1</sup>), variando las dosis según la fecha prevista de siembra y el tipo de suelo. Otra alternativa es combinar una labranza mecánica -para



eliminar las malezas presentes en el momento previo al barbecho- con la aplicación de herbicidas residuales; de esta manera se evitan nuevos movimientos de suelo y sus consecuentes efectos negativos, como la pérdida de humedad.

### Ventana preemergente

Un eficaz control de malezas involucra sembrar semilla de buena calidad, con elevado poder germinativo y libre de semillas de malezas. También es importante la siembra en fecha apropiada, usualmente el otoño. En algunas zonas es común la siembra de pasturas con un cultivo acompañante, como trigo, avena, centeno, triticale, etc. Las razones para incluir un cultivo acompañante pueden ser varias: obtener una producción de forraje anticipada respecto de la que proporcionan la alfalfa y las gramíneas perennes, reducir los problemas de erosión, cubrir los espacios vacíos para impedir la emergencia de malezas, etc. Es importante tener en cuenta que los cultivos acompañantes compiten con la alfalfa por agua, luz y nutrientes, y que esta competencia se acentúa bajo condiciones climáticas adversas (27). El momento oportuno para pastorear el cultivo acompañante, a fin de que no se convierta en un serio competidor de la pastura, puede determinarse sobre la base del PCC, que en la Región Pampeana oscila entre los 50 y los 100 días desde la emergencia. El concepto rector es que el cultivo acompañante no alcance estadios de desarrollo que superen a las etapas finales del macollaje.

Si el lote seleccionado para la siembra de la alfalfa tiene un importante banco de semillas anuales, y a fin de impedir la emergencia masiva de malezas otoño-invernales, se pueden emplear herbicidas preemergentes con poder residual, como diflufenican, flumetsulam, o la mezcla de ambos (Figura 10). Dado que el uso de diflufenican en suelos livianos puede provocar pérdida de plantas de alfalfa, su uso está más bien recomendado para suelos medianos a pesados que, por su mayor contenido de arcilla y materia orgánica, poseen mayor capacidad de adsorción de esos productos herbicidas. En lotes con invasión de pasto puna se pueden hacer aplicaciones preemergentes de trifluralina, producto que por su acción gramínicida sólo debe emplearse en pasturas puras de alfalfa.

### Ventana posemergente

Respecto de los tratamientos preemergentes, las aplicaciones posemergentes tienen la ventaja de poder regular la intensidad de intervención, definiendo los herbicidas y las dosis a usar en función de las malezas presentes. Teniendo en cuenta el PCC y el UDE, el momento y el alcance de las aplicaciones se regula sobre la base del tipo, el tamaño y el nivel de infestación de las malezas. En ese contexto, si la población de malezas presenta una alta diversificación y el nivel de infestación es elevado, es aconsejable un tratamiento al principio del PCC (Figura 11), aplicando probablemente dosis elevadas de una combinación de activos que amplíen el espectro de control. Si la presión de malezas es menos exigente, las aplicaciones pueden realizarse en cualquier momento del PCC, empleando dosis más bajas y no tanto mezclas sino más bien herbicidas específicos. Vale decir que las intervenciones, si bien se realizarán siempre dentro del PCC, podrán adelantarse o atrasarse en función de las características del subsistema ma-



**FIGURA 10** – Excelente emergencia de un cultivo de alfalfa en un lote preparado con sistema de labranza convencional y tratado 15 días antes de la siembra con una combinación de glifosato (48%) + flumetsulam (12%) + diflufenican (50%) en dosis de 2000, 350 y 40 cc ha<sup>-1</sup>, respectivamente.



lezas que se tenga; esto último también condiciona los herbicidas y las dosis a usar.

## Alternativas de control químico posemergente

Una vez que se han identificado las especies de malezas presentes y se ha estimado su nivel de infestación, se pueden implementar diversas alternativas de control posemergente tanto para pasturas en implantación como ya implantadas. En base a múltiples ensayos realizados en distintas localidades de la Región Pampeana y de frecuentes consultas de asesores privados y productores agropecuarios, se pueden definir distintas estrategias de control químico de malezas. Comúnmente, a efectos de asegurar el correcto establecimiento de la alfalfa, es necesario realizar el control durante la etapa de implantación de la pastura, favoreciendo significativamente su producción posterior. Con menor frecuencia se hacen aplicaciones en cultivos de más de un año, aunque la experiencia indica que hay numerosas situaciones en las que sería no sólo conveniente sino también necesario hacerlo más regularmente.



**FIGURA 11** - Estado ideal de la alfalfa ( $\geq 3$  o más hojas trifoliadas) para una aplicación posemergente temprana al inicio del período crítico de competencia (PCC).

### ■ Pasturas en implantación

En el Cuadro 1 se ofrece un listado de herbicidas y dosis a utilizar en el control de malezas durante la etapa de implantación de la pastura, especificando en cada caso el espectro de control y la estrategia de aplicación.

**CUADRO 1** - Alternativas químicas para el control de malezas durante la implantación de pasturas de alfalfa pura o consociada. Referencias: PSI = presiembra incorporado; PRE = presiembra, y POS = posemergencia.

Modo de aplicación	Principios activos y concentración	Espectro de control	Dosis (l ó kg ha <sup>-1</sup> ) de producto comercial	Observaciones
<b>PSI</b>	Trifluralina 48	Capín arroz, pasto cuaresma, grama carraspera, quínoa, Verdolaga, yuyo colorado, capiquí y pasto puna.	1,5 a 2,0	En alfalfas puras.
	EPTC 70	<i>Idem</i> anteriores. Tiene cierta acción sobre cebollín, gramón y sorgo de Alepo.	4,5 a 5,5	<i>Idem</i> anterior
<b>PRE</b>	Flumetsulam 12	Nabo, mostaza, nabillo, bolsa del pastor, nabón, capiquí, rama negra, chinchilla, manzanilla cimarrona y nomeolvides.	0,4 a 0,5	Puede provocar cierta merma de producción en algunos de los cultivos acompañantes.
	Flumetsulam 12	<i>Idem</i> anterior.	0,20 a 0,25	Aplicar a partir de la 3 <sup>era</sup> hoja trifoliada de la alfalfa.

continúa

Modo de aplicación	Principios activos y concentración	Espectro de control	Dosis (l ó kg ha <sup>-1</sup> ) de producto comercial	Observaciones
<b>POS</b>	Diflufenicam 50	Nabo, mostaza, nabillo, bolsa de pastor y ortiga mansa.	0,07 a 0,1	Puede provocar albinismo en algunas hojas de la alfalfa. Aplicar a partir de la 3 <sup>era</sup> hoja trifoliada.
	2,4-DB (éster) 100	Cardos (pendiente, asnal, negro y ruso), cardito, nabo, mostaza, bolsa del pastor, altamisa colorada, mastuerzo, ortiga, diente de león, nabillo, quínoa, cardo ruso, morenita y yuyo colorado.	0,3 a 0,75	La formulación éster provoca cierta fitotoxicidad en la alfalfa y puede haber pérdida de plantas.
	2,4-DB (sal amina) 50		0,7 a 1,5	
	Clorimuron 25	Rama negra, nabo, nabón, mostaza, nabillo, bolsa del pastor, mastuerzo, altamisa colorada, apio cimarrón, manzanilla cimarrona, lengua de vaça, flor morada y ortiga mansa <sup>(*)</sup> .	0,02 a 0,03	Puede provocar fitotoxicidad en avena y temporalmente reducir el crecimiento de la alfalfa. Aplicar a partir de la 2 <sup>da</sup> o 3 <sup>era</sup> hoja trifoliada. (*) Control parcial
	Imazetapir 10	Lengua de vaca, ortiga, ortiga mansa, perejilillo, sanguinaria, quínoa, verdolaga, capín arroz, pasto colorado, pasto cuaresma, chinchilla, yuyo colorado, bolsa del pastor, mostaza, nabón, nabo, nabillo, mastuerzo, capiquí, sorgo de alepo <sup>(*)</sup> y cebollín <sup>(*)</sup>	0,8 a 1,0	En alfalfa pura aplicar a partir de 2 <sup>da</sup> o 3 <sup>era</sup> hoja trifoliada y con malezas muy juveniles o todavía no nacidas. (*) Control parcial.
	Paraquat 27,6	Cuscuta	0,75 a 1,0	En alfalfa pura aplicar sólo en los sectores ( <i>manchones</i> ) con la maleza.
	Pendimentalin 33	Cuscuta	5,0 a 6,0	En alfalfa pura aplicar cuando están naciendo las primeras plantas después de un corte o pastoreo. Se aconsejan 2 aplicaciones divididas.
	Cletodim 24	Capín arroz, pasto colorado, pasto cuaresma, grama carraspera, cola de zorro, roseta, pasto puna, sorgo de alepo, gramón <sup>(*)</sup> y paitén <sup>(*)</sup> .	0,4 a 0,8	Aplicar en alfalfa pura o asociada con otras leguminosas. Emplear en mezclas con coadyuvantes. Existen otros productos con acción similar a los nombrados y con selectividad comprobada, pero no están registrados en alfalfa. (*)A las dosis señaladas, sólo control parcial.
Setoxidim 18		1,5 a 3,0		
Quizalofop etil 1,8		1,5 a 2,5		
Diflufenicam 50 + Flumetsulam 12	Nabo, mostaza, bolsa del pastor, ortiga mansa, nabillo, nabón, mastuerzo, capiquí, rama negra, manzanilla cimarrona, nomeolvides, chinchilla, algodónosa, borraja pampeana, morenita y yuyo colorado.	0,05 a 0,07 + 0,15 a 0,20	Aplicar cuando la alfalfa tenga de 2 a 3 hojas trifoliadas. Pueden provocar cierto albinismo en las hojas de la alfalfa.	

continúa

Modo de aplicación	Principios activos y concentración	Espectro de control	Dosis ( l ó kg ha <sup>-1</sup> ) de producto comercial	Observaciones
POS	2,4-DB 100%  +  Bromoxinil 34,6	Cardos, cardito, abrepuño amarillo, nabo, mostaza, bolsa del pastor, nabillo, mastuerzo, altamisa colorada, quínoa, verdolaga, morenita, yuyo colorado, diente de león, sanguinaria, enredadera anual, flor morada y falso alcanfor.	0,5 a 0,75  +  0,75 a 1,0	
	2,4-DB 50  +  Flumetsulam 12	Cardos, cardito, nabo, mostaza, bolsa del pastor, nabillo, quínoa, morenita, yuyo colorado y manzanilla cimarrona.	0,7 a 1,0  +  0,15 a 0,20	
	2,4 -DB 50  +  Diflufenican 50	Cardos, nabo, mostaza, bolsa del pastor, mastuerzo, altamisa colorada, nabillo, algodonosa, ortiga mansa, borraja pampeana, morenita, yuyo colorado, viola, manzanilla y abrepuño amarillo(*)	0,7 a 1,0  +  0,6 a 0,8	Control parcial
	2,4 -DB 50  +  Bentazon 60	Cardos, nabo, mostaza, bolsa del pastor, nabillo, nabón, nomeolvides, apio cimarrón, manzanilla, abrepuño amarillo, morenita, verdolaga y yuyo colorado.	1,0 a 1,5  +  0,06 a 0,08	
	2,4 - DB 50  +  Prometrina 50	Cardos, manzanilla cimarrona, ortiga mansa y verónica.	1,0 a 1,5  +  0,15 a 0,20	
	2,4-DB 50  +  Clorimuron 25	Cardos, morenita, yuyo colorado, manzanilla cimarrona, rama negra, cerraja, diente de león, nabo, nabón, mostaza, nabillo, bolsa del pastor, mastuerzo, altamisa colorada y ortiga mansa.	0,7 a 1,0  +  0,015 a 0,020	Al principio puede retrasar el crecimiento de la alfalfa.
	2,4-DB 50  +  Imazetapir 10	<i>Idem</i> Imazetapir más el control de cardos.	0,7 a 1,0  +  0,7 a 0,8	

Modo de aplicación	Principios activos y concentración	Espectro de control	Dosis (l ó kg ha <sup>-1</sup> ) de producto comercial	Observaciones
POS	Diflufenican 50 + 2,4-DB 50	Cardos, cardito, abrepuño amarillo, sombra de liebre, manzanilla cimarrona, nomeolvides, sanguinaria, enredadera anual, morenita, yuyo colorado, nabo, nabón, mostaza, nabillo, bolsa del pastor y mastuerzo.	0,15 a 0,20 + 0,7 a 1,0	El uso de 2,4 DB éster podría provocar pérdida de plantas de alfalfa.
	Diflufenican 50 + Bromoxinil 34,6		0,05 + 0,7	
	Clorimuron 25 + Bromoxinil 34,6			
	Clorimuron 25 + Bentazon 34,6	Rama negra, nabo, mostaza, bolsa del pastor, nabón, nabillo, mastuerzo, apio cimarrón, cardos, morenita, yuyo colorado y manzanilla cimarrona.	0,15 a 0,20 + 0,7 a 1,0	Al principio el crecimiento de la alfalfa puede verse retrasado.
	Clorimuron 25 + Bentazon 60	<i>Idem</i> Anterior. Mejora el control de morenita, abrepuño amarillo, apio cimarrón, ortiga mansa, cardo ruso y yuyo colorado.	0,015 a 0,020 + 0,7 a 0,8	Al principio el crecimiento de la alfalfa puede verse retrasado
	2,4-DB 50 + Bentazon 60 + Prometrina 50	Nabo, mostaza, bolsa del pastor, nabillo, mastuerzo, nabón, nabo, no me olvides, apio cimarrón, cardos, manzanilla cimarrona, abrepuño amarillo, ortiga mansa, borraja pampeana, perejilillo, verónica, morenita, yuyo colorado y quínoa.	0,7 + 0,7 + 0,14	
	2,4-DB 50 + Diflufenican 50 + Bromoxinil 34,6	<i>Idem</i> Diflufenican + Bromoxinil, pero mejora el control de cardos, perejilillo y abrepuño amarillo.	0,5 + 0,07 + 0,7 a 1,0	Puede observarse clorosis en algunas hojas de alfalfa.

### ■ **Pasturas implantadas (más de 1 año)**

En el caso de pasturas ya establecidas, el momento más oportuno para realizar los tratamientos de control químico es generalmente el otoño, época en la que se establece la mayoría de las malezas. A los productos listados en el Cuadro 1 se agregan el metribuzin y la simazina, cuyas dosis dependen de la densidad de plantas de alfalfa y del tipo de suelo; respecto de esto último, es importante mencionar que el uso de estos productos no está recomendado en suelos arenosos. En el Cuadro 2 se ofrecen algunas alternativas de control de malezas en pasturas implantadas, combinando los productos anteriormente mencionados.

**CUADRO 2** - Alternativas químicas para el control de malezas en pasturas implantadas de alfalfa pura o consociada con otras forrajeras.

Productos activos	Principales malezas	Dosis en l ó kg ha <sup>-1</sup> de producto comercial	Observaciones	
2,4DB sal amina 50 + Metribuzin 48	Rama negra, cardos, abrepuño amarillo, apio cimarrón, ortiga mansa, bolsa del pastor, mostaza, nabillo, mastuerzo, nabo y nabón.	0,7 a 1,3 + 0,15 a 0,25	Aplicar en julio-agosto. Las mezclas de Metribuzin con 2,4-DB podrían provocar cierta fitotoxicidad a la alfalfa según la época de aplicación, pero luego se repone.	
2,4DB éster 100 + Metribuzin 48		0,5 + 0,15 a 0,25		
2,4DB sal amina 50 + Metribuzin 48 + Bentazon 60	<i>Idem</i> anterior. Mejora el control bajo condiciones de alta presión de estas malezas.	0,9 + 0,25 + 0,8		
2,4DB éster 100 + Metribuzin 48 + Bentazon 60		0,4 + 0,25 + 0,8		
2,4-DB sal amina 50 + Metribuzin 48 + Diflufenican 50	<i>Idem</i> anteriores.	0,8 + 0,25 + 0,05		
2,4DB éster 100 + Metribuzin 48 + Diflufenican 50		0,4 + 0,25 + 0,05		
Metribuzin 48 + Bromoxinil 34,6	Abrepuño amarillo, apio cimarrón, cardos, enredadera anual, sanguinaria y quínoa.	0,25 + 0,8-1,0		
Metribuzin 48 + Bentazon 60		0,25 + 0,8		
Simazina 50	Nabo, bolsa del pastor, mastuerzo, quínoa, cerraja, yuyo colorado, verdolaga y manzanilla cimarrona.	3,0 a 4,0		Aplicar en los meses más fríos y después de un corte o pastoreo.



## ■ **Renovación de pasturas**

Por renovación de pasturas se entiende la aplicación de tecnología que permita la recuperación de la productividad o la prolongación de la vida útil de una pastura perenne degradada. En la práctica, no es infrecuente que las pasturas lleguen al tercer o cuarto año de vida con un elevado nivel de infestación de malezas, tanto anuales como perennes. Si bien en muchos de esos casos la densidad de plantas de las especies forrajeras es aceptable, su crecimiento se ve comprometido no sólo por su propio envejecimiento sino también porque las malezas ejercen excesiva competencia por recursos tales como luz, agua y nutrientes. En consecuencia, el concepto de renovación de pasturas implica eliminar la competencia de las malezas, creando así las condiciones para fomentar el crecimiento de las especies forrajeras (29).

Para la renovación de pasturas por medios químicos debe utilizarse un herbicida de acción total y sistémica, como el glifosato, aplicado en los meses de junio a agosto. A fin de que el tratamiento sea efectivo, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos: 1) las malezas otoño-invernales a controlar deben estar en activo crecimiento; 2) aunque la mayoría de las alfalfas se encuentra en reposo durante el invierno, es recomendable realizar un pastoreo intensivo previo a la aplicación del herbicida; de esta manera se busca minimizar la cantidad de follaje remanente con el que el glifosato pueda entrar en contacto, dado que a mayor cantidad de hojas presentes en el momento de la aplicación mayor será el tiempo que la alfalfa necesite para rebrotar; asimismo, si se tratara de una pastura consociada, el pastoreo previo es importante para no perjudicar a las gramíneas forrajeras de crecimiento invernal; 3) las aplicaciones de glifosato fuera de la época indicada, con alfalfas en activo crecimiento o con abundante área foliar, provocarán el debilitamiento e incluso la pérdida de plantas del cultivo; 4) las dosis de glifosato recomendadas oscilan entre 1,5 y 2,5 l ha<sup>-1</sup>, dependiendo del estado de la pastura y de la presión de malezas; 5) si en el momento de la aplicación existieran malezas en estado fenológico avanzado sería recomendable agregar unos 700 cc ha<sup>-1</sup> de 2,4-DB sal amina o 500 cc ha<sup>-1</sup> de 2,4-DB éster; y 6) para el control de ciertas malezas, el glifosato puede combinarse con herbicidas residuales: clorimuron (20 g ha<sup>-1</sup>) para rama negra y Brassicáceas; diflufenican (70 cc ha<sup>-1</sup>) para ortiga mansa y Brassicáceas; metribuzin (150 a 250 cc ha<sup>-1</sup>) o simazina (1 a 1,2 l ha<sup>-1</sup>) para abrepuño; el uso de estos productos no está recomendado en suelos livianos o en lotes con baja densidad de plantas, sino más bien en suelos de textura media a finas (suelos pesados); en muchas situaciones, las simazina se recomendaría más que los otros productos dado que por su menor movilidad en el suelo ofrecería menor riesgo de fitotoxicidad.

Todos los conceptos anteriores, referidos a la renovación de pasturas mediante el uso de herbicidas, se resumen en el Cuadro 3.

## **Malezas especiales**

A continuación se ofrecerá una síntesis de las principales características y del modo de control de un grupo de malezas de gran importancia para el cultivo de la alfalfa.

### **Senecio**

La mayoría de las especies del género *Senecio* (Figura 12) han sido citadas como invasoras de pasturas, produciendo en muchos casos no sólo la disminución de la receptividad de los potreros sino también serios riesgos de toxicidad para el ganado bovino. Este último aspecto ha sido estudiado en las especies perennes *S. tweediei*, *S. madagascariensis*, *S. pempeanus*, *S. bonariensis* y en la anual *S. vulgaris* (8). Los senecios producen una intoxicación de carácter crónico que dificulta el diagnóstico porque los efectos pueden aparecer después de un largo período de consumo. El efecto nocivo sobre los vacunos se debe al contenido de sustancias alcaloides del tipo pirrolizidínicos (3, 8).

**CUADRO 3** – Herbicidas y dosis recomendados para la renovación de pasturas de alfalfa pura o consociada con gramíneas.

Productos activos	Acción de control	Observaciones	Dosis en l ó kg <sup>-1</sup> ha de producto comercial
Glifosato	Control de malezas emergidas. Muy buena alternativa para el control de pasto puna.	Aplicación en junio-agosto con la alfalfa en reposo invernal. Inmediatamente antes de la aplicación es recomendable un pastoreo intenso o un corte a fin de reducir al mínimo posible el follaje remanente.	1,5 a 2,5
Glifosato + Clorimuron	El clorimuron mejora el control de malezas y proporciona residualidad al tratamiento		1,5 a 2,0 + 0,02
Glifosato + Simazina	Los herbicidas mencionados mejoran el control de malezas del glifosato solo y proporcionan residualidad al tratamiento.	Simazina y metribuzin se deben usar en suelos de textura media a fina (suelos pesados)	1,5 a 2,0 + 1,0 a 1,2
Glifosato + Metribuzin			1,5 a 2,0 + 0,15 a 0,25
Glifosato + 2,4-DB sal amina			1,5 a 2,0 + 0,5
Glifosato + 2,4DB éster			1,5 a 2,0 + 0,25

## Prevención

Cuando se siembre la pastura deberá prestarse especial atención en utilizar semilla de buena calidad, libre de *Senecio*. Una vez implantada, se recomienda mantener una alta cobertura y una adecuada densidad de plantas de alfalfa, evitando el sobrepastoreo. Es también importante conocer las especies de *Senecio* que pueden estar presentes en el lote y evitar su consumo por parte de los animales.

## Control

Es recomendable el control químico temprano, cuando la maleza tiene menos de 5 cm de altura. En pasturas consociadas, durante la etapa de implantación, se puede aplicar una mezcla de 500 g i.a. (ingrediente activo) ha<sup>-1</sup> de 2,4-DB éster o sal amina y 360 g i.a. ha<sup>-1</sup> de bromoxinil; o bien una combinación de 360 g i.a. ha<sup>-1</sup> de bromoxinil + 30 g i.a. ha<sup>-1</sup> flumetsulam + 30 cc de tensioactivo en 100 lts agua. Si las plantas de *Senecio* ya tienen un año o más, se recomienda realizar un corte y tratar el rebrote con las mezclas ya citadas pero aumentando las dosis. Respecto de esto último, es importante señalar que los resultados de los tratamientos sobre los rebrotes de plantas adultas son muy variables, dependiendo de las condiciones climáticas previas y posteriores a la aplicación, de la homogeneidad del rebrote y de la calidad de la aplicación. En todos los casos es aconsejable el asesoramiento técnico y la implementación de acciones permanentes e integradas.

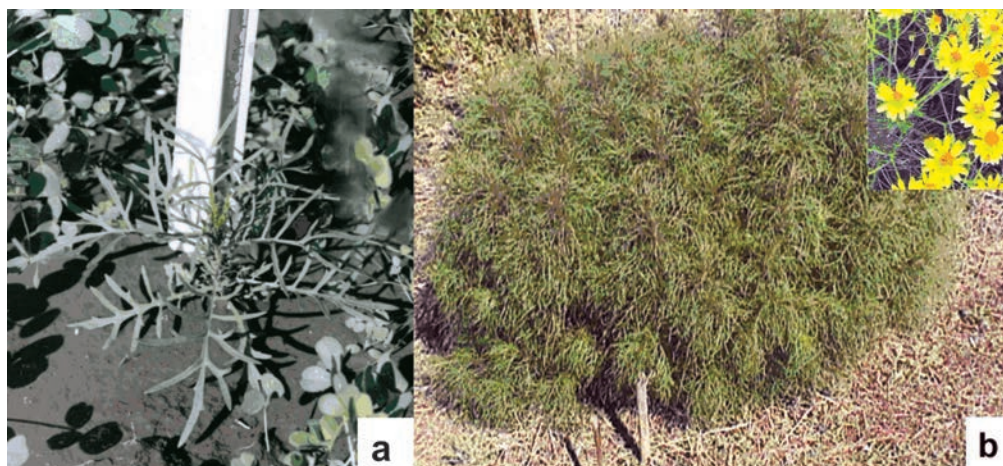


FIGURA 12 – Diferentes estados de desarrollo de *Senecio* spp.: a) plántula; y b) planta adulta con detalle de inflorescencia.

### ***Yuyo esqueleto***

El yuyo esqueleto (*Chondrilla juncea*) (Figura 13) es una maleza perenne y agresiva, con un sistema radical profundo y una gran rusticidad que tornan muy difícil su control. El ciclo de la planta se inicia en otoño, a partir de rosetas que emergen tanto del cuello de la raíz de la planta ya establecida como de plántulas recientemente emergidas a partir de semilla. Hacia principios de noviembre se inicia la elongación de los tallos y la floración se produce hacia fines de diciembre; la producción de semillas puede extenderse hasta marzo, que es el mes en que normalmente se secan los tallos. Esta maleza también puede ser un problema en cultivos de trigo, soja y girasol (30).



FIGURA 13 – Planta adulta de yuyo esqueleto.

#### **Control**

Hasta el presente, los herbicidas evaluados para el control de yuyo esqueleto en pasturas con alfalfa no han mostrado resultados consistentes. En otoño temprano, aplicaciones de 2,4-DB (100%) en dosis de 1,5 lts ha<sup>-1</sup>, o de una mezcla de 2,4-DB y bromoxinil (34,6 %), a razón de 1,0 lts ha<sup>-1</sup> de cada uno, realizaron un buen control inicial; no obstante, cinco meses más tarde no tuvieron prácticamente efecto sobre la población de la maleza ni sobre la biomasa obtenida en el primer corte de la alfalfa. En pasturas sembradas a fines de otoño, las aplicaciones de estos herbicidas efectuadas en el mes de junio no ejercieron ningún control más allá de los 50 días. Por el contrario, pulverizaciones de clorimuron-etil y de imazetapir + 2,4-DB disminuyeron significativamente la proporción de la maleza en el primer corte de forraje.

El corte de la raíz principal del yuyo esqueleto por medio de laboreos mecánicos incentiva el desarrollo de nuevos vástagos que, dependiendo de la profundidad en que se encuentren, alcanzarán la superficie en diferentes momentos; de esta forma, la última labor de preparación del suelo en un sistema de siembra convencional puede definir el enmalezamiento temprano de la pastura. La aplicación de altas dosis de glifosato [1.920 g p.a. (sal dimetilamina) ha<sup>-1</sup>] en marzo, previo a la siembra de la pastura, permitiría controles de hasta el 70 % de los rebrotes en un período de 6 meses posteriores a la aplicación (31). Este nivel de efectividad se logra cuando el tratamiento se realiza una vez que la mayor parte de las rosetas han emergido y se encuentran creciendo vigorosamente como consecuencia del manejo previo.

De acuerdo con Vigna y López (32), la implantación de pasturas base alfalfa de buen vigor y densidad de plantas ha demostrado ser una herramienta eficaz para disminuir la población de yuyo esqueleto en el SO de la provincia de Buenos Aires. Los autores observaron que aquellos lotes que presentaban un alto grado de infestación de la maleza comenzaban a disminuir drásticamente la población de yuyo esqueleto a partir del segundo año de establecida la pastura, y que durante el cuarto año el número de plantas era inferior al 10% de la población inicial. Evidentemente, una alta producción de biomasa por parte de la pastura a principios de primavera y fines del verano impide el desarrollo de rosetas vigorosas a partir de plantas de yuyo esqueleto ya establecidas, lo que afecta negativamente la exportación de fotoasimilados hacia las raíces, que ven así limitado no sólo su propio crecimiento sino también el desarrollo potencial de nuevos vástagos. Por otro lado, un buen desarrollo de la pastura durante el período estival, que permitiera cortes o pastoreos cada 40-50 días, puede contribuir significativamente a reducir la producción de semillas de la maleza. La acción de competencia ejercida por las pasturas de alfalfa pura o consociada puede ser complementada con la actividad del agente de biocontrol *Eriophyes chondrillae* (Acarina, *Eriophyidae*), introducido en 1989 por la EEA Bordenave-INTA (33). Este ácaro, que reduce marcadamente la producción de semillas de yuyo esqueleto, puede constituirse en un factor de gran importancia para mantener bajas las poblaciones de la maleza en el SO de la provincia de Buenos Aires. Su aporte cobra todavía mayor importancia cuando, por diversas circunstancias, el desarrollo de la pastura es menor al deseable y los intervalos entre cortes son más largos que los señalados anteriormente.

## Cebollín

El cebollín (*Cyperus rotundus*) (Figura 14) es una especie herbácea, perenne y provista de rizomas y tubérculos pequeños que engendran nuevas plantas. Se propaga principalmente por los tubérculos de sus rizomas. Es una maleza muy importante que está difundida en varias provincias de nuestro país y que afecta a diferentes cultivos agrícolas, hortícolas, frutales y forrajeros, incluyendo a la alfalfa.

## Control

Si la alfalfa se siembra con un sistema convencional, que supone laboreos durante enero y febrero, el cebollín -debido a su ciclo primavero-estival- estará en pleno crecimiento cuando llegue la época óptima de siembra (marzo) de la pastura; en ese caso, la maleza ejercerá una importante competencia, pudiendo afectar seriamente la implantación y la futura productividad de la alfalfa. Sin embargo, teniendo en cuenta que las bajas temperaturas reducen notablemente la brotación y el crecimiento del cebollín, puede sugerirse para la zona central de la Región Pampeana la postergación de la siembra de la alfalfa por uno o dos meses, a la espera de que las temperaturas más bajas retarden el crecimiento de la maleza y la hagan mucho menos competitiva (16). Obviamente, para la adopción de esta práctica se recomienda evaluar en cada situación los posibles perjuicios que puede ocasionar una siembra de fines de otoño y asumir sólo un nivel de riesgo moderado. Una vez implantada la alfalfa, en caso de que el grado de infestación de cebollín fuera todavía muy alto, se puede realizar una aplicación de imazetapir 10% (0,8 a 1,2 lts p.f. ha<sup>-1</sup>) cuando la alfalfa alcance el estado de segunda o tercera hoja trifoliada. Este herbicida es eficaz para el control no sólo de cebollín sino también de otras malezas que infestan a la alfalfa durante su implantación; además, por su efecto residual prolongado, protege al cultivo de otras malezas que podrían germinar posteriormente. Es importante tener en cuenta que el imazetapir sólo debe utilizarse en alfalfa pura o asociada con otras leguminosas (fabáceas), ya que puede afectar a las gramíneas acompañantes o consociadas.

Otra alternativa eficaz para la preparación de lotes infestados con cebollín que van a ser destinados a pasturas de alfalfa es implantar en la primavera anterior a la siembra cultivos



resistentes a glifosato, como sojas o maíces RR. A medida que la maleza los vaya invadiendo, los lotes deberán tratarse con dosis iniciales relativamente altas (4,0 a 5,0 lts p.f. ha<sup>-1</sup>) de glifosato; las aplicaciones posteriores que hicieran falta pueden realizarse a menores dosis. El resultado final de todas estas pulverizaciones será una drástica reducción de la población de la maleza, de forma que no resulte tan competitiva para la siembra de la alfalfa. En este contexto, si se empleara la soja como cultivo antecesor, es conveniente el uso de cultivares de ciclo corto a fin de desocupar temprano el lote y no retrasar innecesariamente la siembra de la alfalfa, evitando así los riesgos que implica una siembra de fines de otoño o principios de invierno.



FIGURA 14 - Sector de una pastura de alfalfa invadida por cebollín.

Otra variante es realizar un laboreo del suelo con una anticipación de 45 a 60 días a la siembra de la pastura, permitiendo a la maleza crecer hasta comienzos de floración y, en ese momento, aplicar glifosato a razón de 4,5 a 6,0 lts p.f. ha<sup>-1</sup>. Seguidamente, después de dejar actuar al herbicida al menos un par de semanas, se continúa con las tareas de preparación del suelo para la siembra de la alfalfa. Estas acciones reducirán por lo menos un 70% la población de cebollín, permitiendo una buena implantación de la pastura (16). Como se mencionara anterior-

mente, si a pesar de todo lo anterior la población de la maleza sigue siendo elevada, se puede aplicar imazetapir después que la alfalfa logre el estado de segunda o tercera hoja trifoliada.

En cualquier caso, una vez establecida la pastura, el cebollín deberá ser controlado mediante adecuadas estrategias de manejo. Esto se debe fundamentalmente a que el imazetapir, es sensiblemente menos efectivo que al comienzo de la implantación y a que en alfalfares jóvenes el glifosato no se puede usar a las elevadas dosis que se mencionaron anteriormente porque les produciría un daño irreparable. Se puede concluir diciendo que la siembra de alfalfa en lotes severamente infestados de cebollín debería evitarse dado que el control químico es costoso y no necesariamente efectivo en todos los casos.

## Pasto puna

El pasto puna (*Stipa brachychaeta*) es una gramínea perenne con varias cohortes de germinación otoño-invernal que se constituye en una de las principales malezas de las pasturas de prácticamente toda la Región Pampeana (20). La cantidad y la dureza de sus semillas - especialmente las cleistógamas, que se encuentran en la base de las vainas y que se forman tempranamente a partir del 4° o 5° mes desde la germinación- aseguran la persistencia de la especie, particularmente en los potreros invadidos a través de los años cuando el control está ausente o se realiza tardíamente (19). La especie es muy sensible a la falta de luz y por ello su avance es lento en el primer año de la pastura; posteriormente, cuando la presión de pastoreo o las plagas y enfermedades generan espacios entre las plantas de alfalfa, se puede convertir en una de las malezas principales, condicionando la productividad y la persistencia de la pastura.

## Control

En los últimos años, el uso de graminicidas específicos ha permitido un excelente nivel de control del pasto puna durante el período de implantación (julio/agosto) de alfalfares puros,



cuando la maleza se encuentra en un estado temprano (5 a 8 cm de altura) de su desarrollo (Figura 15). Lo importante de la aplicación temprana residen en que la maleza es más sensible; de lo contrario, podrían observarse rebrotes (Figura 16). Entre otros, los herbicidas posemergentes recomendados son cletodim (con el agregado de coadjuvantes), quizalofop-etil y propaquizafop (14). También es recomendable el empleo de graminicidas de presiembra, como la trifluralina, aunque su eficiencia y selectividad son menores que las de los anteriores. En alfalfas de 2 o más años se pueden realizar aplicaciones posemergentes de bajas dosis de glifosato; los tratamientos deben hacerse durante la época de reposo invernal de la alfalfa y/o después de un corte o pastoreo intenso. La eficiencia del glifosato se puede incrementar con la inclusión de un coadjuvante que favorece el mojado y la penetración del producto a través de la cutícula de las hojas.



**FIGURA 15-** Estado óptimo de desarrollo del pasto puna para su tratamiento con herbicidas graminicidas específicos.

### **Sorgo de Alepo y gramón**

El sorgo de Alepo (*Sorghum halapense*) y el gramón (*Cynodon dactylon*) son dos especies perennes que se constituyen en graves malezas de las zonas agrícola-ganaderas, especialmente donde predominan las pasturas de alfalfa asociadas con gramíneas. En realidad, estas malezas no son sólo un problema específico de la alfalfa sino más bien del sistema productivo en su totalidad. Ambas especies son de ciclo primavero-estival y se propagan por medio de semillas y órganos vegetativos (rizomas y/o estolones).



**FIGURA 16 -** Rebrote de planta adulta de pasto puna afectada por una dosis alta de un producto graminicida.

### **Control**

Las estrategias de manejo se basan en el control eficiente durante la etapa de cultivos previos al establecimiento de la pastura. Mediante rotaciones con verdeos de invierno (en especial avena) y con cultivos graníferos de verano

se pueden eliminar los rizomas, principal vía de difusión y perpetuación de estas malezas. Las prácticas incluyen laboreos mecánicos y aplicaciones de herbicidas de acción total en los barbechos otoñales y primaverales, complementados con el uso de productos selectivos en los cultivos graníferos de verano. Posteriormente, una vez implantada la alfalfa, se pueden emplear graminicidas específicos de alta efectividad.

### **Cuscuta**

La cuscuta (*Cuscuta spp.*) es una planta parásita anual de crecimiento primavero-estivo-otoñal, aunque puede igualmente vegetar durante los inviernos benignos. Además de la alfalfa puede también parasitar a otras especies como quínoa, yuyo colorado, tréboles, etc.; obviamente, esto último favorece su expansión y perpetuación en las áreas afectadas (4). Se suma a esto que cada planta puede producir hasta 16.000 semillas, las que en estado de dormancia pueden mantener su viabilidad durante más de 20 años (7). Estas semillas son muy similares a las de alfalfa en forma, tamaño y peso, por lo que su separación en las plantas semilleras resulta difícil y costosa.

## Control

Es de suma importancia la siembra de semilla de alfalfa libre de cuscuta, dado que ningún tratamiento por sí solo sirve para controlar efectivamente a la maleza en todas las sementeras de alfalfa. La elección de los tratamientos están ligados a la consideración de los siguientes aspectos: a) destino productivo de la alfalfa: semilla (riego o seco) o forraje; y b) nivel de infestación de cuscuta en cada aspecto.

En el caso de cultivos implantados en hileras separadas a  $\geq 70$  cm para la producción de semilla se pueden realizar controles mecánicos entre las hileras al iniciarse la germinación de la cuscuta. También se pueden aplicar herbicidas residuales como el pendimetalin, siendo aconsejable dividir el tratamiento en aplicaciones separadas por aproximadamente 45 días.

Si la cuscuta ya está establecida, se debe estimar el nivel de infestación del lote de acuerdo con la siguiente categorización: leve o con trazas de la maleza ( $< 10$  %), moderada (11-25 %) y alta ( $> 26$  %). Estos porcentajes se refieren al área total de manchones de cuscuta que podría esperarse en el cultivo si no se toman medidas de control. Como referencia se indica que un nivel de 1 % puede significar la existencia de 100 a 120 m<sup>2</sup> de manchones ha<sup>-1</sup>. Una vez identificados, los manchones deben tratarse con un herbicida total de contacto, como el paraquat; una vez secos, los manchones deben quemarse.

## Alfalfa resistente a glifosato

La posibilidad de poder contar en un futuro cercano con cultivares de alfalfa transgénica resistentes a glifosato «RR» ofrece una alternativa de indudable valor. Al igual que en los cultivos de soja y maíz resistentes a este herbicida, el productor pecuario podrá disponer de una metodología química selectiva de amplio espectro de control y de bajo costo para el tratamiento de las malezas en alfalfares puros. Entre los primeros investigadores que ensayaron con alfalfas «RR», fueron los norteamericanos Orloff y Doll quienes observaron la eficacia en el control de malezas latifoliadas y gramíneas sin afectar al cultivo, aún en dosis elevadas (28). Muchas especies para las que actualmente el control es difícil y caro -como yerba del pollo, rama negra, cardos, apio cimarrón, diente de león y varias perennes- dejarían de ser un problema importante. En ese escenario, muchas de las alternativas de control sugeridas previamente en este capítulo dejarían de ser necesarias.

Sin embargo, es importante considerar que esta promisorio herramienta tecnológica conlleva también la posibilidad de crear una nueva y amenazante problemática en el tema de las malezas: la difusión paulatina de especies con tolerancia a glifosato. En la EEA Manfredi-INTA, Rodríguez (18, 17) ha confeccionado un listado importante de malezas con estas características. El nivel de tolerancia de varias de ellas ha sido corroborado en numerosos ensayos experimentales (13, 10 y 11).

En ese contexto, la incorporación al sistema productivo de nuevos cultivos transgénicos con resistencia a glifosato hará que se incremente cada vez más el uso de este herbicida, lo que a su vez ejercerá una creciente presión de selección en favor de las malezas tolerantes. Ejemplos de ello son la reciente difusión de malezas como la «flor de Santa Lucía» (*Commelina erecta*) y la «ocucha» (*Parietaria debilis*), favorecidas por el uso continuado de la combinación glifosato + soja resistente a glifosato. Por otro lado, los mismos cultivos resistentes a glifosato, como los actuales soja y maíz, pueden transformarse en maleza de otros cultivos, con el agravante de que su control es más dificultoso que el de una maleza sensible al herbicida.

Una de las alternativas para evitar la difusión de malezas tolerantes al glifosato es el empleo de este herbicida en mezcla con otros productos de diferente modo de acción y

momento de aplicación. Entre las ventajas de esta práctica respecto del uso de glifosato, sólo pueden citarse las siguientes: a) mayor espectro de control; b) adición de residualidad a los tratamientos; c) disminución de probabilidades de aparición de especies tolerantes y/o resistentes a un único herbicida, y d) reducción de la cantidad de glifosato aplicada y, en algunos casos, reducción de los costos de aplicación.

Como conclusión de todo lo anterior se recomienda la realización de estudios tendientes a determinar la máxima eficacia de control con la mínima dosis posible de glifosato a aplicar y la evaluación de mezclas de glifosato con otros productos que otorguen metodologías más sustentables para el manejo de las malezas en los sistemas de producción.

## Factores de éxito en el uso de herbicidas

Muchas veces los tratamientos con herbicidas fallan o no tienen la eficacia que sería dable esperar, haciendo que se pierdan tiempo y dinero. En la gran mayoría de los casos las causas del fracaso quedan sin explicación; en otros se concluye que la aplicación no fue buena, que la elección del pesticida fue errónea o que las condiciones ambientales no fueron favorables. Rodríguez (24) ha resaltado la importancia del correcto manejo de los plaguicidas y ha elaborado una serie de recomendaciones que se resumen a continuación:

### Manejo de herbicidas

- Deben tenerse en cuenta las incompatibilidades que pueden existir entre los distintos productos a fin de evitar efectos negativos en los tratamientos.

- Previo a la preparación del caldo de pulverizado en el tanque del pulverizador, se recomienda una evaluación a pequeña escala en un recipiente de vidrio (probeta o similar). Esto es particularmente aconsejable cuando se utilicen mezclas con otros pesticidas y/o productos aditivos. De esta manera se podrá apreciar la formación o no de precipitados, la uniformidad o la separación en fases de la mezcla, o cualquier otra anomalía que pueda presentarse.

- Cuando se trabaje con productos comerciales registrados, se deberán seguir atentamente las instrucciones indicadas en los marbetes, especialmente en lo atinente a mezclas y otros aspectos de manejo.

- Una vez colocados los productos en el tanque del pulverizador, es conveniente no demorar la agitación y asegurarse que ésta sea adecuada.

- Si debieran usarse productos formulados como polvos mojables es aconsejable realizar un premojado en un recipiente antes de agregarlo al tanque. Es fundamental que las pulverizaciones de pesticidas en polvo tengan una buena agitación en el tanque del pulverizador. También es recomendable que las preparaciones de pesticidas en polvo no permanezcan en el tanque de un día para el otro con la finalidad de evitar la formación de precipitados.

- Los productos que se conserven en el campo deben estar correctamente almacenados para prevenir la contaminación con agua y otras sustancias, evitar herrumbres, prevenir derrames y otros efectos indeseables, etcétera.

## Calidad de agua

El agua subterránea suele ser el vehículo normalmente usado para las pulverizaciones de agroquímicos. Es importante notar que la calidad del agua no siempre es la adecuada, presentando en muchos casos altos contenidos de sales o pH excesivamente alcalinos que pueden contribuir a una baja eficacia de los herbicidas. Asimismo, la presencia de calcio, magnesio o bicarbonato de sodio en cantidades elevadas puede provocar un efecto antagónico para los herbicidas que vienen formulados como sales, tales como glifosato y 2,4-DB sal amina; también podría verse disminuida la eficacia de otros productos, como atrazina, simazina, metribuzín y diflufenican (23). La calidad del agua tiene también un marcado efecto sobre la estabilidad de los productos formulados como concentrados emulsionables u otro tipo de presentaciones líquidas.

En consecuencia, es altamente recomendable realizar el análisis químico del agua que frecuentemente se utiliza en las aplicaciones de herbicidas. De ser necesario, deberán realizarse las correcciones que fueren pertinentes.

## Uso de coadjuvantes

Muchos de los principios activos de los nuevos herbicidas requieren la adición de coadjuvantes para asegurar su actividad, especialmente cuando las condiciones (ambientales, calidad del agua, etc.) de la aplicación no son las adecuadas. Se denomina coadjuvante a cualquier sustancia que, agregada a la solución herbicida, sirve para aumentar la efectividad del tratamiento. Existen diferentes categorías de coadjuvantes, a saber (21):

- **Activadores:** aumentan la actividad biológica del herbicida por encima de lo que se obtiene usualmente sin su agregado. Por sus características físicas se clasifican en tres grupos: surfactantes, aceites vegetales y aceites vegetales concentrados.

- **Modificadores de la solución:** actúan alterando positivamente las características de la solución en el tanque, de modo de mejorar la eficiencia de la aplicación. De acuerdo con su modo de acción se clasifican en humectantes, adherentes, espesadores y espumantes.

- **Modificadores de la utilidad:** actúan mejorando las condiciones bajo las cuales una fórmula herbicida ejerce su acción. Este grupo incluye no sólo a los secuestrantes de cationes y a los reguladores de pH para aguas de mala calidad, sino también a los agentes de compatibilidad que mantienen el equilibrio de las mezclas emulsionables o que aumentan la dispersión y/o solubilidad del principio activo.

## Residuos de herbicidas usados en cultivos antecesores

En una rotación de cultivos debe tenerse en cuenta la residualidad de los herbicidas que se emplean en cada fase, de modo de anticipar posibles efectos no deseados sobre los cultivos que siguen en la sucesión. Las condiciones climáticas, el tipo de suelo y el manejo pueden tener marcada influencia sobre la persistencia de los residuos en el ambiente. Algunos puntos a tener en cuenta en esta problemática serían los que se describen a continuación:

- El tiempo seco reduce la dosis de disipación de los herbicidas. Esto es particularmente importante para las primeras 4-6 semanas luego de la aplicación. Por el contrario, si las lluvias y la humedad del suelo fueron suficientes para movilizar al herbicida y para controlar las malezas, las probabilidades de acumulación de residuos serán menores.

■ Los laboreos de suelo de otoño y primavera pueden ayudar a diluir cualquier residuo de herbicida y permitir que las raicillas de las nuevas plántulas puedan crecer por debajo de la zona donde se encuentra el producto. En ese sentido, el arado de rejas tiene el efecto más notorio. No obstante es importante decir que aunque el laboreo puede reducir el problema, no lo eliminará por completo.

■ El pH del suelo afecta la persistencia de algunos herbicidas. Por ejemplo, valores por encima de 7.0 pueden prolongar la persistencia de atrazina, simazina, y algunas sulfonilureas (clorimuron, metsulfurón, clorsulfurón, etc.). Por su parte, valores bajos de pH aumentan la persistencia de los herbicidas pertenecientes al grupo de las imidazolinonas (23).

■ Si se sospecha que en la primavera siguiente pudieran quedar residuos en el suelo, se pueden mejorar las condiciones para la implantación del nuevo cultivo a través de una reducción de la compactación del suelo, la formación de una buena cama de siembra, el uso de semilla de buena calidad, la implementación de un óptimo nivel de fertilización y la siembra en condiciones adecuadas de temperatura del suelo para una rápida emergencia.

■ Finalmente, puede ser aconsejable la realización de un análisis de presencia de herbicidas (*biotest*), ya sea en condiciones de campo o laboratorio. En este sentido, es importante remarcar que los resultados de estos análisis sólo proveen de una estimación sobre el potencial de daño potencial.

## Bibliografía

1. BEDMAR, F. 1999. Manejo de malezas en girasol. EEA Balcarce-Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias. Boletín Informativo (s/n), 84 p.
2. BUHLER, D. D. 1995. Influence of tillage systems on weed populations dynamics and management in corn and soybean in the central USA. *Crop Sci.* 35: 1247-1258.
3. CANTERO, J. J. y C. A. BIANCO. 1986. Las plantas tóxicas del sur de la provincia de Córdoba (Argentina). *IDIA* 453-456: 9-63.
4. FAYA de FALCÓN, L., S. M. PIERI y N. E. RODRIGUEZ. 1992. Malezas. Reconocimiento de semillas y plántulas. INTA. Centro Regional Cuyo. Agro de Cuyo, Manuales N° 3 (2<sup>da</sup> edición actualizada). Mendoza, Argentina, 112 p.
5. FISCHER, J. A., J. H. DAWSON and A. P. APPLEBY. 1988. Interference of annual weeds in seedlings alfalfa (*Medicago sativa*). *Weed Science* 36: 583-588.
6. ISTILART, C. M. 2003. Malezas en pasturas consociadas con gramíneas forrajeras. Carpeta de actualización técnica en ganadería. Chacra Experimental Integrada Barrow (MAA y P-INTA), pp. 31-36.
7. LANINI, W. T. and M. KOGAN. 2005. Biology and management of *Cuscuta* in crops. *Ciencia e Investigación Agraria* Vol. 32 (3): 166.
8. LÓPEZ, T. A., E. R. ODRIOZOLA y J. J. EYHERABIDE. 1991. Toxicidad vegetal para ganado. Patología, prevención y control. CERBAS. EEA Balcarce INTA. Balcarce, Bs. As., pp. 43-44.
9. MONTOYA, J. C., F. J. BABINEC, N. M. RODRÍGUEZ, J. PÉREZ FERNÁNDEZ y A. A. BONO. 1999. Uso de agroquímicos en la provincia de La Pampa. Boletín de Divulgación Técnica N° 66. EEA Anguil «Ing. Agr. Guillermo Covas» INTA, s/p.
10. PAPA, J. C. 2004a. ¡Alerta! Malezas tolerantes - *Parietaria debilis* (ocucha). AAPRESID. <http://www.fyo.com/granos/ampliar.asp?IdNoticia=39540&idtipoinformacion=116>. (consultado el 18/03/05).
11. PAPA, J. C. 2004b. Malezas tolerantes y resistentes a herbicidas. <http://www.INTA.gov.ar/expo/intaexpone/charlas/garcia/malezas.PDF> (consultado el 18/03/05).
12. PIKE, D. R. 2005. Economic Threshold for Weeds. Pesticide impact assessment program report. [http://web.aces.uiuc.edu/vista/pdf\\_pubs/ECTHR.PDF](http://web.aces.uiuc.edu/vista/pdf_pubs/ECTHR.PDF) (consultado el 14/03/06).
13. RAINERO, H. P. 2004. ¿Malezas nuevas? ¿O viejas que se adaptan a los nuevos sistemas?. Malezas con grados de tolerancia a glifosato: 1. Control. EEA Manfredi INTA. Boletín Técnico N° 1. Proyecto Regional de Agricultura Sustentable. Enero, s/p.



14. RAINERO, H. P. y N. E. RODRÍGUEZ. 1996. Control de pasto puna (*Stipa brachychaeta*) en alfalfa. EEA Manfredi INTA. Información para Extensionistas N° 72, 6 p.
15. RAINERO, H. P., N. E. RODRÍGUEZ, J. A. LÓPEZ y N. M. RODRÍGUEZ. 1995. Manejo de las malezas en el cultivo de alfalfa. In: E. Hijano y A. Navarro (ed) La alfalfa en la Argentina. INTA, Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, pp. 107-122
16. RAINERO, H. P., N. E. RODRÍGUEZ, J. A. LÓPEZ y O. SIGNORILE. 1993. Control de malezas en alfalfa. In: E. Hijano (ed) Alfalfa - Protección de la pastura. Subprograma Alfalfa. INTA. Centro Regional Cuyo, Mendoza. Agro de Cuyo Manuales 4, pp. 77-111.
17. RODRÍGUEZ, N. E. 2004. ¿Malezas nuevas? ¿O viejas que se adaptan a los nuevos sistemas? Malezas con grados de tolerancia a glifosato: 2. Identificación. EEA Manfredi INTA. Boletín Técnico N° 1. Proyecto Regional de Agricultura Sustentable. Enero, s/p.
18. RODRÍGUEZ, N. E. 2002. Avances en el estudio de malezas: Reconocimiento. Malezas con grados de tolerancia a glifosato. [CD-rom] – INTA, EEA Manfredi.
19. RODRÍGUEZ, N. E. y A. BIANCHINI. 1996. Presencia y germinación de granos cleistógenos en plantas jóvenes de pasto puna (*Stipa brachychaeta* Godron). Gaceta Agronómica 16 (91): 202-205.
20. RODRÍGUEZ, N. E. 1994. Estudios sobre emergencia y sobrevivencia de pasto puna (*Stipa brachychaeta*) en alfalfa. In: Jornada de Actualización Técnica «Control de malezas gramíneas». Feria Internacional de Tecnología Agropecuaria (FITAG). Córdoba, 3-8 de mayo, 9 p. (mimeografiado).
21. RODRÍGUEZ, N. M. 2003. Formulaciones y surfactantes. Boletín de divulgación técnica N° 75. EEA Anguil INTA, 28 p.
22. RODRÍGUEZ, N. M., J. MONTOYA, J. PÉREZ FERNÁNDEZ y A. CORRÓ MOLAS. 2003. Enfermedades y Malezas en pasturas. Colegio Ing. Agrónomos de La Pampa - EEA Anguil INTA [CD-rom].
23. RODRÍGUEZ, N. M. 2000. Calidad de agua y agroquímicos. Boletín de Divulgación Técnica N° 68. EEA Anguil INTA, 24 p.
24. RODRÍGUEZ, N. M. 1997. Plaguicidas agrícolas. Es importante que el técnico y el productor conozcan su correcto manejo. Revista CREA N° 199: 46-52.
25. RODRÍGUEZ, N. M., J. PÉREZ FERNÁNDEZ, H. E. TORROBA y H. CATALANI. 1993. Malezas y su control. Publicación Técnica N° 42. EEA Anguil INTA, 12p.
26. RODRÍGUEZ, N. M., H. E. TORROBA, R. PACHECO LEÓN, C. ZUCCARELLI y M. PEREZ DE PEREZ. 1983. Malezas en alfalfares y pasturas polifíticas. Los problemas reales y sus sistemas de control. Publicación Técnica N° 28. EEA Anguil INTA, s/p.
27. ROMERO, N. A., N. A. JUAN y L. A. ROMERO. 1995. Establecimiento de la alfalfa en la Región Pampeña. In: E. Hijano y A. Navarro (ed) La alfalfa en la Argentina. INTA, Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, pp. 21-36.
28. TIETZ, N. 2004. Weeds' worst nightmare. Hay and Forrage Grower. [http://hayandforage.com/mag/farming\\_weeds\\_worst\\_nightmare/index.html](http://hayandforage.com/mag/farming_weeds_worst_nightmare/index.html) (Consultado el 01/03/06).
29. TOMMASONE, F. 1998. Siembra directa y rejuvenecimiento en campos ganaderos. In: 5° Seminario de Actualización Técnica. Invernada: Planteos de alta producción. CPIA-CADIA-SRA., Buenos Aires, pp. 29-42.
30. VIGNA, M. R. y L. R. LÓPEZ. 2000. Interferencia de *Chondrilla juncea* L. en cultivos de trigo, girasol y soja en el SO de Buenos Aires. Informe Técnico N° 66. EEA Bordenave INTA, s/p.
31. VIGNA, M. R. y R. L. LÓPEZ. 1998. Evaluación de dosis y mezclas de formulaciones de glifosato para barbecho químico en cereales de invierno en lotes infestados con *C. juncea*. In: Actas IV Cong. Nac. Trigo y II Simp. Nac. Cereales Otoño-Invernales. Mar del Plata, Bs. As., pp. 4-35.
32. VIGNA, M. R. y L. R. LÓPEZ. 1997. Efecto de pasturas perennes sobre la población de «yuyo esqueleto» (*Chondrilla juncea* L.). Informe Técnico N° 65. EEA Bordenave INTA, s/p.
33. VIGNA, M. R., M. DE BRIAZO, R. CURVETTO y R. L. LÓPEZ. 1991. Introducción, colonización y establecimiento de *Eriophyes chondrillae* (G. Can) (Acarina. Eriophyidae), agente de control biológico de *Chondrilla juncea* L. (Compositae) en Argentina. In: Resúmenes XII Reunión Argentina sobre la Maleza y su Control. ASAM-CIAM, Mar del Plata, Bs. As.

## Anexo

**CUADRO A** - Listado parcial de los principios activos y marcas comerciales de los herbicidas de uso más frecuente en pasturas perennes base alfalfa.

Principios activos y concentración (%) de formulaciones	Marcas comerciales
2,4-DB éster 100	Marcas varias.
2,4-DB sal amina 50	Venceweed Amina 50.
Bentazon 60	Basagrán, Tool, etc.
Bentazon + 2.4-DB sal amina (24 + 22,6) y (54 + 4)	Campográn, Basagrán DB.
Bromoxinil 34,6 y 36	Brominal, Weedex, Bromotril.
Cletodim 24	Select, Centurión Kosako.
Clorimuron 25	Classic, Backup, Climur.
Diflufenican 50	Brodal, Quintal.
EPTC 70	EPTAM
Flumetsulam 12	Preside, Status.
Glifosato 48	Marcas varias.
Haloxifop r metil 10,4, 12, 24	Galant R, Mirage, Focus Ultra.
Imazetapir 10	Pivot H
Metribuzin 48	Sencorex, Lexicon.
Paraquat 27,6	Paraquat, Gramoxone Súper, Fitoquat.
Pendimetalin 33	Herbadox 33 E
Prometrina 50	Gesagard 50, Prometrex 50 FW.
Propaquizafop 10	Agil.
Quizalofop p etil 1,8	Sheriff, Herban
Setoxidim 18	Poast
Simazina 50	Simazina Dow Agrosiences, Simanex
Trifluralina 48	Marcas varias.

CUADRO B - Listado de malezas más comúnmente encontradas en pasturas base alfalfa en la Región Pampeana.

Nombre común <sup>(*)</sup>	Nombre científico	Familia	Código WSSA - WSSJ
Abrepuño amarillo ©	<i>Centaurea solstitialis</i>	Asteráceas	#CENSO
Achicoria del campo	<i>Hypochoeris spp</i>	Asteráceas	#HRYSS
Algodonosa ©	<i>Gamochaeta spp</i>	Asteráceas	--
Altamisa colorada ©	<i>Descurainia argentina</i>	Brasicáceas	--
Apio cimarrón ©	<i>Ammi majus</i>	Apiáceas	#AMIMA
Bolsa del pastor ©	<i>Capsella bursa pastoris</i>	Brasicáceas	#CAPBP
Borraja pampeana ©	<i>Anchusa arvensis</i>	Boragináceas	#LYCAR
Capín arroz ©	<i>Echinochloa crusgalli</i>	Poáceas	#ECHCG
Capiquí ©	<i>Stellaria media</i>	Cariofiláceas	#STEME
Cardo asnal ©	<i>Silybum marianum</i>	Asteráceas	#SLYMA
Cardo negro ©	<i>Cirsium vulgare</i>	Asteráceas	#CIRVU
Cardo pendiente ©	<i>Carduus thoermeri</i>	Asteráceas	--
Cardo ruso ©	<i>Salsola kali</i>	Quenopodiáceas	#SASKA
Cebadilla criolla ©	<i>Bromus catharticus</i>	Poáceas	#BROCA
Cebollín ©	<i>Cyperus rotundus</i>	Ciperáceas	#CYPRO
Cerraja ©	<i>Sonchus oleraceus</i>	Asteráceas	#SONOL
Chinchilla ©	<i>Tagetes minuta</i>	Asteráceas	#TAGMI
Cola de zorro ©	<i>Setaria verticillata</i>	Poáceas	#SETVE
Cuscuta ©	<i>Cuscuta spp</i>	Convolvuláceas	#CVCSS
Diente de león ©	<i>Taraxacum officinale</i>	Asteráceas	#TAROF
Enredadera anual ©	<i>Fallopia convolvulus</i>	Poligonáceas	#POLCO
Flor amarilla	<i>Diplotaxis tenuifolia</i>	Brasicáceas	#DIPTA
Flor de pajarito ©	<i>Fumaria spp</i>	Fumariáceas	#FUMSS
Flor morada ©	<i>Echium plantagineum</i>	Borragináceas	#EHIPL
Gramma carraspera ©	<i>Eleusine indica</i>	Poáceas	#ELEIN
Gramón ©	<i>Cynodon dactylon</i>	Poáceas	#CYNDA
Lechuga salvaje	<i>Lactuca serriola</i>	Asteráceas	#LACSE
Lengua de vaca ©	<i>Rumex crispus</i>	Poligonáceas	#RUMCR
Llantén peludo	<i>Plantago patagonica</i>	Plantagináceas	#PLAPR
Manzanilla cimarrona ©	<i>Anthemis cotula</i>	Asteráceas	#ANTCO
Mastuerzo ©	<i>Coronopus didymus</i>	Brasicáceas	#COPDI
Morenita ©	<i>Bassia scoparia</i>	Quenopodiáceas	#KCHSC
Mostacilla ©	<i>Rapistrum rugosum</i>	Brasicáceas	#RASRU
Mostaza ©	<i>Hirschfeldia incana</i>	Brasicáceas	#HISIN
Nabillo ©	<i>Sisymbrium irio</i>	Brasicáceas	#SSYIR
Nabo ©	<i>Brassica rapa</i>	Brasicáceas	#BRSRA
Nabón ©	<i>Raphanus sativus</i>	Brasicáceas	#RAPSV
Nomeolvides ©	<i>Anagallis arvensis</i>	Primuláceas	#ANGAR
Ortiga mansa ©	<i>Lamium amplexicaule</i>	Lamiáceas	#LAMAM
Paitén ©	<i>Setaria parviflora</i>	Poáceas	#SETGE



continuación cuadro B

Nombre común <sup>(*)</sup>	Nombre científico	Familia	Código WSSA - WSSJ
Pasto colorado ©	<i>Echinochloa colonum</i>	Poáceas	#ECHCO
Pasto de cuaresma ©	<i>Digitaria sanguinalis</i>	Poáceas	#DIGSA
Pasto puna ©	<i>Stipa brachychaeta</i>	Poáceas	#STDBR
Pasto salado	<i>Distichlis spicata</i>	Poáceas	#DISSP
Perejilillo ©	<i>Bowlesia incana</i>	Apiáceas	#BOWIN
Quinoa ©	<i>Chenopodium spp</i>	Quenopodiáceas	#CHESS
Rama negra ©	<i>Conyza bonariensis</i>	Asteráceas	#ERIBO
Revienta caballo	<i>Solanum elaeagnifolium</i>	Solanáceas	#SOLEL
Roseta ©	<i>Cenchrus pauciflorus</i>	Poáceas	#CCHPA
Sanguinaria ©	<i>Polygonum aviculare</i>	Poligonáceas	#POLAV
Senecios ©	<i>Senecio spp.</i>	Asteráceas	#SENSS
Sorgo deAlepo ©	<i>Sorghum halepense</i>	Poáceas	#SORHA
Sunchillo	<i>Wedelia glauca</i>	Asteráceas	#WEDGL
Verdolaga ©	<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacáceas	#POROL
Verónica ©	<i>Verónica spp</i>	Escrofulariáceas	#VERSS
Violeta silvestre ©	<i>Viola arvensis</i>	Violáceas	#VIOAR
Yerba del pollo	<i>Alternanthera pungens</i>	Amarantáceas	#ALRRE
Yuyo colorado ©	<i>Amaranthus quitensis</i>	Amarantáceas	--
Yuyo colorado rastrero ©	<i>Amaranthus standleyanus</i>	Amarantáceas	--
Yuyo esqueleto ©	<i>Chondrilla juncea</i>	Asteráceas	#CHOJU

(\*) Extraídos de Petetin, C. A. 1984. Patrón para los nombres comunes de las malezas de La República Argentina. ASAM. Rev. Malezas 12 (4), 138 p.

(©) Malezas cuyo control se detalla en este capítulo.





## Fertilización y encalado en alfalfa

*Ing. Agr. (PhD) Martín Zorita Díaz*  
Duarte & Asoc., FAUBA y Nitragin Argentina S.A.  
*Ing. Agr. (MSc) Sebastián Gambaudo*  
EEA Rafaela – INTA.



## Introducción

Las pasturas de alfalfa bien implantadas y adecuadamente manejadas convierten diariamente la energía solar en materia seca, acercándose a los niveles de productividad potencial propios de cada ambiente. Así como la duración del período libre de heladas regula la longitud del ciclo anual de crecimiento, la disponibilidad de agua y nutrientes condicionan la capacidad de conversión de la energía solar (radiación) en materia seca, con tasas dependientes de las temperaturas y otros factores según el manejo realizado (área foliar remanente, estación del año, etc.). Los nutrientes provistos por el suelo, la fertilización y otros procesos biológicos tienen un papel preponderante en la determinación del destino productivo de una pastura. Del total de nutrientes consumidos por la alfalfa (Cuadros 1 y 2), el nitrógeno (N), el fósforo (P) y, con menor frecuencia, el azufre (S) y el boro (B) son los elementos que usualmente -en ausencia de restricciones hídricas severas- más limitan su producción (1, 12). Además de éstos, la alfalfa se caracteriza también por presentar altos requerimientos de calcio (Ca) y una marcada sensibilidad a condiciones de acidez de los suelos. En consecuencia, una estrategia eficiente en el manejo nutricional de esta especie deben contemplar, siempre que fuere necesario, no sólo la fertilización sino también las correcciones por encalado (31, 37).

**CUADRO 1** – Requerimientos nutricionales de macro (MACRO) y micronutrientes (MICRO) para la producción de materia seca de alfalfa. Adaptado de García y col. (22).

Requerimientos			
MACRO	kg tn <sup>-1</sup>	MICRO	g tn <sup>-1</sup>
Nitrógeno	28,0 <sup>†</sup>	Zinc	1,5
Fósforo	2,8	Boro	2,7
Potasio	22,0	Cobre	0,7
Azufre	3,8	Manganeso	2,5
Calcio	12,0	Molibdeno	0,5
Magnesio	3,0		

<sup>†</sup> Requerimientos mayormente provistos por la fijación biológica del N atmosférico.

## Nitrógeno (N)

Las grandes cantidades de **N** requeridas por la alfalfa son provistas mayoritariamente desde la atmósfera a través de la simbiosis con la bacteria *Sinorhizobium meliloti*. Este proceso de fijación biológica se alcanza bajo adecuadas condiciones edáficas (aireación, profundidad, pH, etc.), incluyendo una correcta provisión de agua y de nutrientes, y una inoculación eficiente de las semillas. Los detalles de todo este proceso se discuten en el Capítulo 4 de esta publicación. Dado que el N es el principal constituyente de las proteínas, una adecuada nutrición nitrogenada de la planta contribuye a la expansión del área foliar, a una mayor eficiencia en el uso de la radiación y a una mejor calidad del forraje.

En la etapa de la implantación, la alfalfa responde negativamente al agregado de altas dosis de fertilizan-

**CUADRO 2** – Clasificación del estado nutricional de la alfalfa sobre la base de rangos de concentración de nutrientes en hojas. Adaptado de Culot (11).

	Deficiente	Suficiente		Deficiente	Suficiente
Nutriente	g kg <sup>-1</sup>		Nutriente	mg kg <sup>-1</sup>	
Nitrógeno	<40,0	46,0 – 70,0	Manganeso	< 20,0	26 – 250
Fósforo	< 2,0	2,6 – 7,0	Hierro	< 20,0	31 – 300
Potasio	< 17,5	20,0 – 40,0	Boro	< 10,0	29 – 80
Calcio	< 2,5	5,1 – 30,0	Cobre	< 6,0	10 – 30
Magnesio	< 2,0	2,6 – 10,0	Molibdeno	< 0,5	1,1 – 4,0
Azufre	< 2,0	2,6 – 5,0	Zinc	< 10,0	21 – 70

tes nitrogenados, disminuyendo no sólo la densidad de plantas logradas y su capacidad de fijación simbiótica del N atmosférico (24), sino también su posterior producción de forraje (Figura 1). Por el contrario, en pasturas en producción se ha observado que la aplicación de N en el inicio de la primavera induce a una mayor tasa inicial de producción, con el consiguiente adelanto en la acumulación y la utilización del forraje (Figura 2). Este comportamiento, que se atribuye al decaimiento de la actividad de fijación biológica del N, ha sido observado bajo condiciones de secano en varios ambientes. En esas condiciones, se ha recomendado la aplicación de fertilizantes nitrogenados, pero luego del pastoreo para evitar daños fitotóxicos al follaje (42).

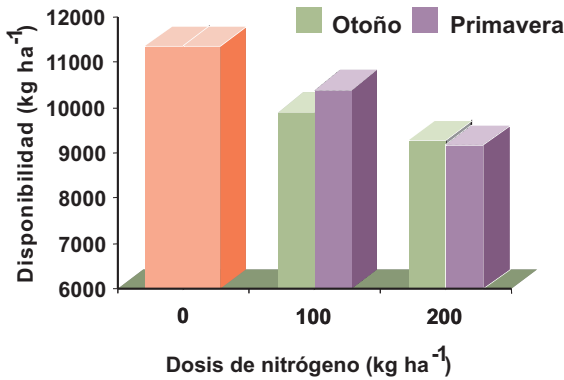


FIGURA 1 – Producción de biomasa aérea (kg ha<sup>-1</sup>) de una pastura consociada de alfalfa y gramíneas templadas bajo condiciones de fertilización nitrogenada (valores promedio de cuatro fuentes de N). Adaptado de Díaz-Zorita y col. (14).

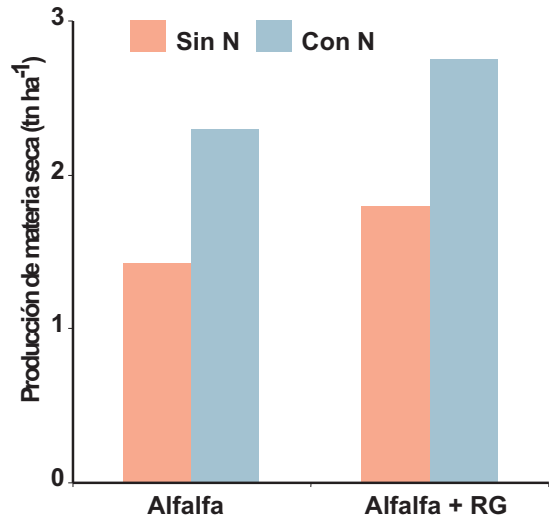


FIGURA 2 – Producción de forraje de pasturas de alfalfa pura o en mezcla con raigrás (RG) fertilizadas con urea en su cuarto año de vida sobre un suelo Hapludol Típico del oeste de Buenos Aires.

Los efectos fitotóxicos de los distintos fertilizantes nitrogenados sobre la población de plantas de alfalfa constituyen otro de los aspectos a considerar cuando se los utiliza durante la siembra de la pastura. Dosis relativamente altas de urea aplicadas en la misma línea de siembra reducen la cantidad de plantas logradas y la producción inicial de la pastura (Figura 3). El daño es de menor magnitud si se emplean otros fertilizantes o si se hacen aplicaciones de urea incorporadas en bandas y al costado de la línea de siembra. Los riesgos de fitotoxicidad son mayores si existen deficiencias hídricas en la capa de suelo donde se colocan las semillas y el fertilizante, y también en aquellos suelos con escasa capacidad de intercambio catiónico (CIC). Este último caso es muy frecuente en suelos de textura franca a arenosa y de moderado a bajo contenido de materia orgánica, lo que condiciona una baja capacidad para retener el amonio formado durante la disolución del fertilizante nitrogenado.

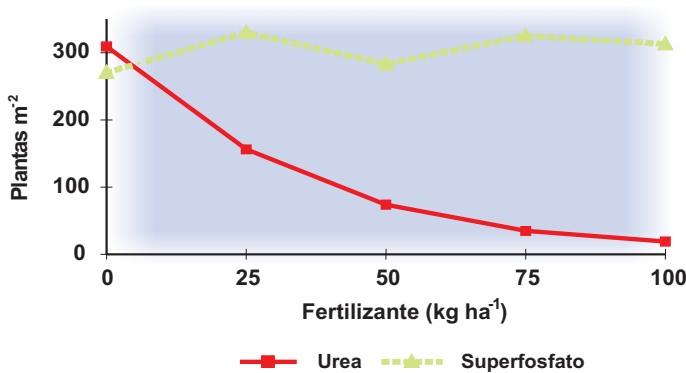


FIGURA 3 - Efecto tóxico de la urea y el superfosfato sobre el número de plántulas de alfalfa emergidas. Adaptado de Vivas (43).

## Fósforo (P)

El P es un elemento fundamental en la nutrición de la alfalfa porque interviene en múltiples procesos, como el desarrollo de la

biomasa aérea y radical, la capacidad de nodulación y de fijación del nitrógeno atmosférico, el funcionamiento de regiones meristemáticas, la fotosíntesis, la síntesis de carbohidratos y proteínas, la transferencia de energía (ATP), etc. Una adecuada provisión de P es fundamental no sólo para la productividad de la planta sino también para su tolerancia a factores de estrés (ej. sequía) y su persistencia. El análisis de suelo, para determinar el nivel de P extractable, es una herramienta de utilidad para diagnosticar ambientes con potenciales necesidades de fertilización fosfatada (2). En general, la máxima productividad de gramíneas forrajeras se alcanza con menores niveles extractables de P del suelo que para leguminosas, y dentro de éstas son mayores las exigencias de la alfalfa (Cuadro 3).

**CUADRO 3** - Rangos críticos de P extractable en el suelo (0 a 15 cm de profundidad), determinados por el método Bray Kurtz I, para distintas especies forrajeras.

Especie	Rango crítico (ppm)
Alfalfa	20 -30 †
Trébol blanco	15 -16 ‡
Trébol rojo	12 -14 ‡
Lotus ( <i>L. corniculatus</i> )	10 -12 ‡
Gramíneas	8 -10 ‡

† Adaptado de Quintero y col. (36) y ‡ Adaptado de Bordoli (4).

Suelos con niveles de P extractable inferiores a 25 ppm, y pH neutro a ligeramente ácido, requieren del agregado de fertilizantes fosfatados para la correcta implantación y el desarrollo de la alfalfa (29, 30, 35). Estos niveles críticos son variables y dependen del nivel de producción y de la disponibilidad relativa de otros nutrientes (44). La información generada en ensayos de invernaáculo sugiere que, para lograr óptimos rendimientos de forraje, los niveles críticos de P en el suelo son mayores si están estimados con el agregado de otros elementos que cuando son calculados sólo con la aplicación de P (16).

La efectividad de las distintas fuentes con P depende no sólo de las propiedades del suelo (textura, pH y contenido de materia orgánica) sino también del tipo de fertilizante empleado y de su forma de aplicación. Además, las dosis a aplicar para el logro de aumentos en la producción de las pasturas depende del nivel de P detectado en el suelo. En el Cuadro 4 se presentan dosis orientativas de aplicación de superfosfato triple para la implantación o la refertilización de pasturas de alfalfa, estimadas a partir de la integración de estas características edáficas (36). El efecto residual de los fertilizantes fosfatados depende fundamentalmente de la dosis aplicada, del tipo de suelo y de la fuente de fertilizante empleada (5). En suelos con pH alcalino (mayor a 6,5) no se recomiendan aplicaciones con fuentes de baja solubilidad, porque presentan una reacción muy lenta. Por el contrario, para condicio-

**CUADRO 4** - Dosis orientativas de fertilización con superfosfato triple (kg ha<sup>-1</sup>) para obtener una máxima producción de forraje de alfalfa en diferentes tipos de suelo. La refertilización indicada se refiere a suelos con contenidos de P < 14 ppm.

P disponible (ppm)	Tipo de suelo		
	Franco arenoso a Arenoso (arcilla < 10 %)	Franco a Franco limoso (arcilla 10 a 30 %)	Franco arcilloso (arcilla > 30 %)
< 5	> 250	> 300	> 360
5 – 12	250 – 160	300 – 200	360 – 230
12 – 18	160 – 90	200 – 100	230 – 130
18 – 25	< 90	< 100	< 130
Refertilización	80	100	120



nes de pH neutro o ligeramente ácido no existen restricciones significativas en cuanto a la solubilidad de las fuentes de P. Los mejores resultados en la utilización de rocas fosfóricas (fosfato natural o fosforitas) se obtienen en suelos de pH inferior a 5,5. En suelos de baja acidez (pH de 5,5 a 6,5), si se quieren obtener respuestas similares a las obtenidas con el uso de superfosfato triple, las dosis de aplicación de rocas fosfóricas deberían incrementarse entre 30% y 50% respecto de las normalmente aconsejadas.

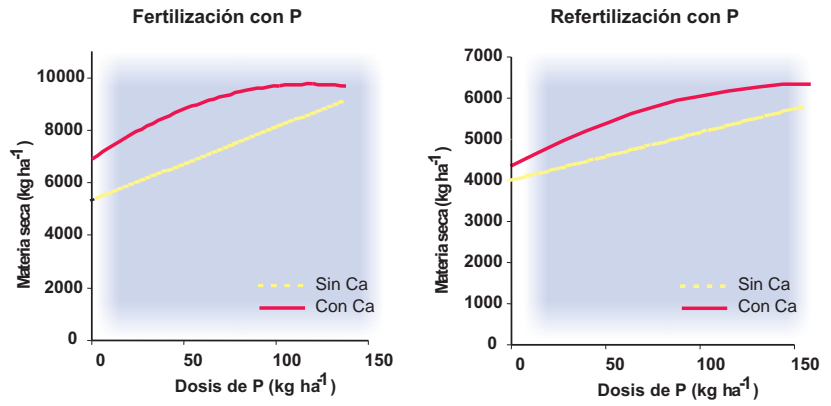


FIGURA 4 - Producción acumulada de materia seca de alfalfa en condiciones de fertilización (9 cortes) y refertilización (4 cortes) con P, con y sin enmienda cálcica. Adaptado de Vivas y Quaino (45).

La acidez del suelo no sólo condiciona la residualidad del fertilizante fosforado sino también la eficiencia de su aprovechamiento, tanto en aplicaciones localizadas en la siembra como en refertilizaciones (Figura 4). En general, dada la dinámica de movimiento del P en el suelo y el proceso de captación por las raíces (difusión), los tratamientos de refertilización fosfatada muestran menor eficiencia de aprovechamiento que las correcciones al momento de la siembra (Figura 5).

## Azufre (S)

En pasturas de alfalfa adecuadamente nutridas con P (> 20 ppm) y con N (eficientemente inoculadas) se pueden detectar deficiencias de otros elementos cuya corrección induce a mejoras en la producción forrajera. En este contexto y en suelos de textura gruesa, típicos de la región de la pampa arenosa, se han descrito importantes contribuciones de aplicaciones de sulfato de amonio durante la implantación de alfalfares (Figura 6). En estos estudios también se determinó que el aporte por el uso de este fertilizante no sólo sería por el mejoramiento de la nutrición de la pastura *per se* sino

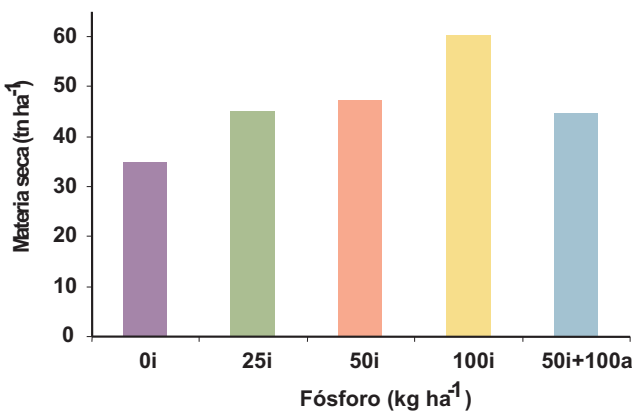


FIGURA 5 - Producción acumulada de materia seca de alfalfa en Balcarce según dosis de fertilización superficial con P aplicado en la implantación (i) o en forma anual (a). Adaptado de Berardo (3).

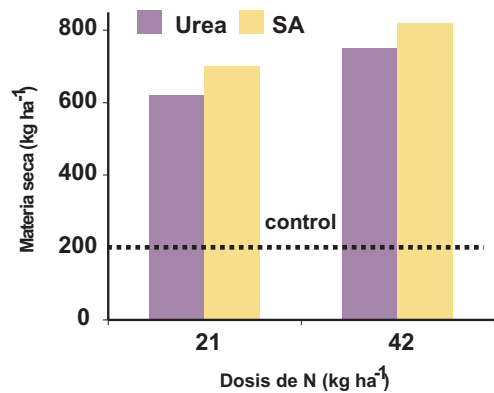
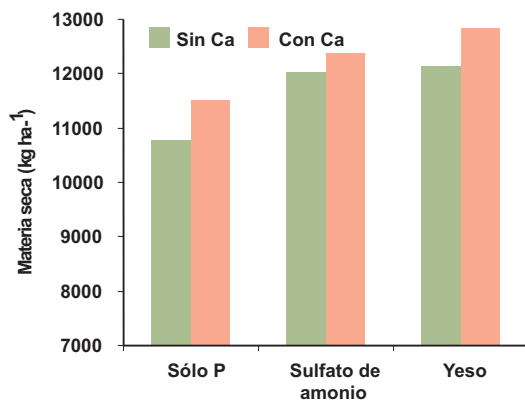


FIGURA 6 - Efecto de la fertilización con urea o con sulfato de amonio (SA) sobre la producción inicial de pasturas con alfalfa en la región de la pampa arenosa. Adaptado de Díaz-Zorita y Fernández Canigia (13).

también por el estímulo sobre la capacidad de nodulación de las plantas y su consiguiente impacto en la fijación biológica del N.

El S es un elemento con funciones afines a las del N, ya que integra la composición de varias proteínas y, por lo tanto, interviene en procesos asociados a la eficiencia de uso de la radiación y contribuye a la calidad del forraje, aportando proteínas esenciales para la nutrición animal. Es un elemento móvil que las plantas captan por el proceso de flujo



**FIGURA 7** - Producción de forraje (kg MS ha<sup>-1</sup>) de alfalfa con y sin cal, y fertilizada con 40 kg ha<sup>-1</sup> de P y 24 kg ha<sup>-1</sup> de S según dos fuentes azufradas. Adaptado de Vivas y Fontanetto (47).

masal al tomar el agua del suelo. En ese contexto, la única alternativa de reposición en los sistemas agropecuarios es el uso de fertilizantes azufrados. Dado que aún no se han desarrollado métodos confiables para el diagnóstico de necesidades de este elemento, las recomendaciones de fertilización se sustentan en la consideración y el ajuste de experiencias regionales. En la Región Pampeana se han informado efectos positivos de la aplicación de S en ambientes de la pampa arenosa, con suelos profundos y de moderado contenido de materia orgánica, y en la región centro-este de Santa Fe sobre pasturas de alta producción (19) (Figura 7).

## Otros nutrientes

Tal como se presentó en el Cuadro 1, los requerimientos nutricionales de la alfalfa son altos y variados y no se circunscriben únicamente a N, P y S. No obstante, las experiencias sobre necesidades de fertilización con otros elementos en la Región Pampeana no sólo son escasas sino también de resultados variables. El potasio (K), además de intervenir en varios procesos metabólicos, juega un rol fundamental en el control no sólo del equilibrio hídrico de las plantas sino también en la regulación del pH y en la acción de numerosas enzimas. Si bien los suelos de la Región Pampeana aún se encuentran en general bien provistos de este elemento, se han detectado en los últimos años respuestas a la aplicación de fertilización potásica en sistemas de alta producción de alfalfa bajo riego (9).

Otro de los cationes que tiene un papel relevante en la producción de las plantas, principalmente por ser un componente crítico de la clorofila, es el magnesio (Mg). Por lo general, la disponibilidad de este elemento en gran parte de la Región Pampeana es abundante y no se han observado respuestas directas a su aplicación en la producción de la alfalfa. En la siguiente sección de este capítulo (Acidez y Encalado) se presentan y discuten los avances logrados respecto del manejo del calcio (Ca) y del Mg para la corrección de la acidez edáfica.

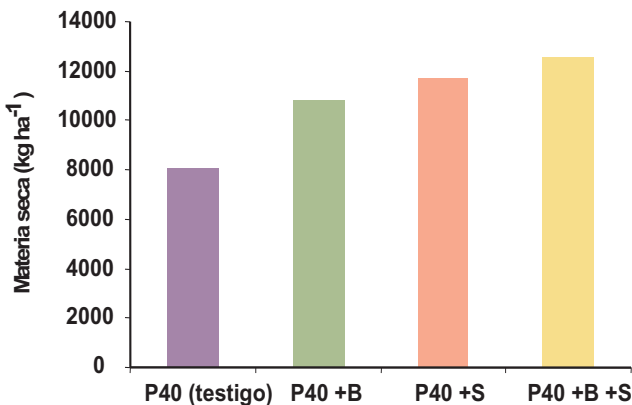
La denominación genérica de micronutrientes -en oposición a los macronutrientes- se reserva para un grupo de elementos que son requeridos en cantidades menores (Cuadro 1) pero que, sin embargo, suelen desempeñar roles muy significativos en muchos procesos de regulación y crecimiento de las plantas (23). Tanto la expansión del área cultivada como la intensificación de los sistemas productivos, principalmente hacia el

**CUADRO 5:** Rangos aproximados de interpretación de niveles extractables de cinco micronutrientes en suelo para la producción de alfalfa. Todos los microelementos fueron extraídos con DTPA. Adaptado de Koenig y col. (28).

	Provisión		
	Baja	Marginal	Adecuada
<b>Micronutriente</b>	— ppm —		
<b>Zinc (Zn)</b>	<0,8	0,8-1,0	>1,0
<b>Hierro (Fe)</b>	<3,0	3,0-5,0	>5,0
<b>Cobre (Cu)</b>	<0,2	–	>0,2
<b>Manganeso (Mn)</b>	<1,0	–	>1,0
<b>Boro (B)</b>	<0,25	0,25-0,5	>0,5

matología de las plantas es todavía más compleja, debido a que -en la mayoría de los casos- una clara manifestación es sólo observable bajo condiciones extremas de deficiencia (48), situación todavía muy poco frecuente en los suelos de la Región Pampeana.

En ambientes de alta producción de la región centro-este de Santa Fe se obtuvieron efectos positivos con aplicaciones de fuentes líquidas de boro (B), a razón de 2 kg ha<sup>-1</sup> divididos en 4 aplicaciones durante el primer año de producción (Figura 8). El B interviene en los procesos de división celular y su deficiencia afecta directamente la capacidad de producción de forraje, al limitar la tasa de crecimiento de las raíces y la nodulación del cultivo. También se han detectado resultados similares a la aplicación de este elemento en áreas del oeste de la provincia de Buenos Aires, en suelos de textura arenosa. No obstante, estas situaciones no son lo suficientemente generalizadas como para justificar su recomendación masiva en los planteos tradicionales de producción.



**FIGURA 8** - Producción acumulada (8 cortes) de materia seca de alfalfa con una fertilización base de P (40 kg ha<sup>-1</sup>) y aplicaciones de S (12 kg ha<sup>-1</sup>) y B líquido (2 kg ha<sup>-1</sup>) en la EEA INTA Rafaela. Adaptado de Vivas (46).

Sintetizando todo lo anterior, podría concluirse que la conveniencia de la fertilización con micronutrientes en alfalfa todavía no está lo suficientemente probada. Si bien podrían existir ambientes específicos donde sería aconsejable, deberían también determinarse las necesidades reales de uso y las alternativas de manejo para su aplicación (dosis, formulaciones, tipos de tratamientos y frecuencia de la fertilización).

norte de la Región Pampeana, han incrementado recientemente la frecuencia de detección de niveles deficitarios de microelementos (32). Lamentablemente, el diagnóstico de estas condiciones deficitarias no es una tarea simple, en particular por la ausencia de una valoración confiable de los niveles críticos en cada caso. A modo de orientación, se resumen en el Cuadro 5 los rangos indicativos de disponibilidad para algunos microelementos, a efectos de proveer un marco de referencia para la interpretación de los análisis de suelo. La realización de diagnósticos de deficiencias sobre la base de la sintomatología de las plantas es todavía más compleja, debido a que -en la mayoría de los casos- una clara manifestación es sólo observable bajo condiciones extremas de deficiencia (48), situación todavía muy poco frecuente en los suelos de la Región Pampeana.

En la EEA INTA Manfredi, la aplicación de un fertilizante foliar que contenía B, cobalto (Co), molibdeno (Mo) y zinc (Zn), no incrementó el rendimiento de forraje de la alfalfa a lo largo de una temporada de evaluación (*D. Basigalup, comunicación personal*).

En la EEA INTA Manfredi, la aplicación de un fertilizante foliar que contenía B, cobalto (Co), molibdeno (Mo) y zinc (Zn), no incrementó el rendimiento de forraje de la alfalfa a lo largo de una temporada de evaluación (*D. Basigalup, comunicación personal*).

**CUADRO 6** - Producción promedio de materia seca (MS) y cantidad de Ca y Mg extraídos en el forraje de 17 cultivares de alfalfa de GRI 6 y 7 en la EEA INTA Rafaela. Adaptado de Bruno y Romero (6). El análisis químico del forraje fue realizado por el Laboratorio de Producción Animal de la EEA Rafaela.

Producción	Años				Total
	1	2	3	4	
tn MS ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	11,75	11,63	15,66	13,53	52,56
kg ha <sup>-1</sup> Ca extraído	126,9	125,6	169,13	146,12	567,75
kg ha <sup>-1</sup> Mg extraído	43,5	43,0	57,9	50,1	194,50

**CUADRO 7** - Producción promedio de materia seca (MS) y cantidad de Ca y Mg extraídos en el forraje de 17 cultivares de alfalfa de GRI 8 y 9 en la EEA INTA Rafaela. Adaptado de Bruno y Romero (6). El análisis químico del forraje fue realizado por el Laboratorio de Producción Animal de la EEA Rafaela.

Producción	Años				Total
	1	2	3	4	
tn MS ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	14,68	17,59	20,64	14,23	67,14
kg ha <sup>-1</sup> Ca extraído	158,5	190,0	222,9	153,7	725,10
kg ha <sup>-1</sup> Mg extraído	54,3	65,1	76,4	52,7	248,50

## Acidez y encalado

El mejoramiento genético de la alfalfa experimentado en los últimos años ha llevado a contar con cultivares de alta producción que duplican, y en algunos casos triplican, la producción de los cultivares disponibles hace sólo 20-25 años (6). En este marco, la excelente producción de las nuevas variedades conlleva una muy importante exportación de calcio (Ca) y magnesio (Mg), elementos que son extraídos principalmente de los horizontes superficiales del suelo. Los Cuadros 6 y 7, que resumen datos de evaluación de alfalfas de reposo invernal intermedio (GRI 6-7) y sin reposo (GRI 8-9), reflejan esta situación. En el Cuadro 1 se aprecia que los requerimientos de Ca para la producción de forraje de alfalfa son aproximadamente 5 veces mayores a los de P.

De todo lo anterior se concluye que para la obtención de altos rendimientos de forraje de alfalfa es necesario contar con un suelo con una muy buena fertilidad, en especial de los denominados elementos esenciales. Un nutriente es considerado esencial para el crecimiento y desarrollo de un cultivo cuando el mismo está involucrado en diferentes funciones metabólicas y su ausencia o deficiencia provocaría que la planta no pueda completar su ciclo (40). En ese contexto, se definen cuatro categorías referidas a la concentración de nutrientes esenciales: a) *deficiente*: cuando la concentración del elemento es tan baja que limita severamente el rendimiento y los signos de esta deficiencia pueden ser visualizadas claramente; b) *rango crítico*: cuando por debajo de esa concentración se observa respuesta al agregado del nutriente; c) *suficiente*: cuando un agregado del mismo no produce aumento de rendimiento pero sí un aumento en la concentración del elemento en el suelo; y d) *excesivo o tóxico*: cuando la concentración es tan alta que es capaz de reducir no sólo el rendimiento sino también el normal desarrollo de la planta.

Dentro de un mismo ecosistema, existe una relación bastante estrecha entre el grado de acidificación del suelo y el tiempo de desarrollo de la actividad agropecuaria o de la intensidad de las prácticas agrícolas (39). En la Región Pampeana Húmeda, con un régimen de precipitaciones que promedia los 900-950 mm anuales, los suelos son predominantemente Argiudoles con horizonte B textural, bien provistos de materia orgánica y nutrientes, levemente ácidos en superficie y moderadamente alcalinos en profundidad.

Ese alto potencial edáfico ha ido transformando a la región a través del tiempo en un sistema de alta producción y con uso intensivo del suelo. Como consecuencia, en la actualidad se estima que existen alrededor de 16 millones de hectáreas afectadas por procesos de acidificación, ubicadas principalmente en el norte de Buenos Aires, centro y sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba y nordeste de La Pampa (8). Basado en observaciones realizadas en lotes con mucha historia agrícola, Gambaudo (*datos no publicados*) estimó que el contenido de Ca se redujo en un 20% y el de Mg en un 50% respecto de un perfil de suelo descripto hace 35 años.

Si bien los suelos de las zonas húmedas tienen la tendencia natural a incrementar su nivel de acidez, el fenómeno se acelera cuando entran en un proceso agrícola. El descenso de los contenidos de Ca y Mg se manifiesta en una disminución generalizada del pH, que en algunas zonas como el sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires alcanzan valores inferiores a 6. Cruzate y Casas (10) indican que el 10% de los lotes agrícolas de la Región Pampeana tiene problemas severos de acidez, con valores de pH menores a 5; el 25% presenta problemas menos severos, con niveles de pH entre 5,8 y 6,2; y el 30% exhibe sólo una ligera tendencia ácida, con rangos de pH entre 6,2 y 6,5.

De todo lo anterior se desprende que si se quiere sostener o incrementar la producción agropecuaria es necesario controlar la acidez; sin embargo, atendiendo a los diferentes componentes químicos del suelo, debe también reconocerse que no siempre es posible realizarlo de una misma manera (20). El conocimiento de las características edáficas de cada ambiente es fundamental para definir las prácticas a seguir en la corrección de los problemas de acidificación.

### La acidez edáfica

La determinación del pH es uno de los parámetros más importantes vinculados con el conocimiento de la fertilidad química de un suelo, dado que permite interpretar la actividad que tendrán los iones presentes en la solución del suelo, que son los responsables de la nutrición mineral de las plantas y -en definitiva- del comportamiento de un cultivo. La capacidad de un suelo de oponerse a un cambio de pH dependerá de la composición química, física y físico-química del complejo absorbente. El rango de pH (relación 1:2,5) 6,5-6,8 es generalmente aceptado como el más apto para el desarrollo de los cultivos y de la flora microbiana del suelo.

Existen varios procesos que pueden causar la acidificación edáfica, cuya ocurrencia dependerá del tipo de suelo, del cultivo y del manejo. Un conocimiento adecuado de estos procesos permitirá un mejor control de los factores que conducen al problema (17). Entre ellos, se pueden describir brevemente:

a) *Extracción de cationes por parte de los cultivos.* La saturación de bases que presenta un suelo en su capacidad de intercambio catiónico (CIC) es otra de las determinaciones importantes de la fertilidad química. Un suelo con un porcentaje adecuado de saturación de bases debería contar con 65% de Ca, 10% de Mg, 8% K y 15% de hidrógeno (H); el 5% restante deberá repartirse entre sodio (Na), hierro (Fe), Mn, cobre (Cu) y Zn. La planta, para mantener su equilibrio interior, a medida que absorbe cationes libera  $H^+$  a la solución del suelo, lo que favorece la acidificación.

b) *Lavado de cationes en profundidad.* El movimiento de cationes a horizontes subsuperficiales (lixiviación) también favorece la acidificación. Los aniones provenientes



tes de la descomposición de la materia orgánica, al formar los llamados pares iónicos, se encargan de arrastrar cationes. También la actividad microbiológica, al generar anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) que luego se transformará en bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) que se combinará con los cationes, favorece la acidificación.

c) *Uso de fertilizantes derivados del amoníaco.* En el suelo, la reacción química que convierte el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) que contienen algunos fertilizantes -como la urea, el sulfato de amonio y el nitrato de amonio- en  $\text{NO}_3^-$  también origina un exceso de  $\text{H}^+$ , lo que lleva a la acidificación del medio. Es necesario destacar que éste es un proceso de largo tiempo, que se observa con un uso continuado de fertilizantes a dosis considerables. En consecuencia, si bien este proceso es posible en un futuro, es actualmente poco probable bajo las condiciones de producción de la Región Pampeana, donde el uso de fertilizantes es relativamente reciente y las dosis de aplicación son generalmente bajas.

d) *Descomposición de residuos orgánicos.* La descomposición de importantes cantidades de residuos orgánicos, con la correspondiente liberación de ácidos y desprendimiento de  $\text{CO}_2$ , podrían ser también responsables de la acidificación del suelo. Si bien este fenómeno es poco común, el uso cada vez más extendido de la siembra directa en forma continua -que aporta una importante masa de rastrojos al sistema- contribuye a su desarrollo. Sin embargo, desde un punto de vista agronómico, esta acidificación no sería tan indeseable como las anteriores y constituiría un menos desagradable problema a solucionar.

## Encalado

Se conoce con el nombre de encalado a la práctica que corrige la acidez edáfica a través de la aplicación de productos capaces de neutralizarla.

Existen varios materiales calcáreos de uso agropecuario que son capaces de corregir la acidez edáfica. Entre los más usados se pueden mencionar:

*Óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ):* también conocido como cal viva o cal quemada, es un polvo de color blanco y de muy difícil y desagradable manipulación. Al ser de reacción muy rápida, resulta de utilidad cuando se desea una pronta corrección de la acidez. Dada su naturaleza, debe mezclarse enseguida con el suelo para evitar su endurecimiento.

*Hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ):* llamada también cal apagada, es un producto que se obtiene a partir de mezclar el óxido de calcio con agua. Tiene una granulometría muy fina que dificulta su manipulación y utilización. Al igual que el producto anterior, es de reacción muy rápida y debe incorporarse inmediatamente al suelo.

*Carbonato de calcio ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ):* también llamado cal agrícola, es el material más utilizado para la corrección de la acidez del suelo. Se obtiene a partir de las rocas caliza, calcita y calcárea, y de conchillas marinas, las que son molidas y tamizadas hasta alcanzar la granulometría correspondiente. En general, no se trata de materiales puros sino de productos que pueden contener un grado variable de impurezas como arcilla, arena y limo.

*Dolomita ( $\text{CO}_3\text{Ca} + \text{CO}_3\text{Mg}$ ):* material conocido también como doble carbonato de calcio y magnesio. Si bien tiene reacción más lenta que el carbonato de calcio, presenta la ventaja de suministrar magnesio además de calcio.

*Óxido de magnesio (MgO)*: material de textura muy fina y de solubilidad lenta. Dado que aporta solamente magnesio, es un material adecuado para utilizar cuando la relación Ca:Mg no es la adecuada.

*Carbonato de magnesio (CO<sub>3</sub>Mg)*: también llamado magnesita, es una muy buena fuente de magnesio y es muy utilizado como corrector de acidez, especialmente cuando la relación Ca:Mg está desbalanceada.

*Escorias industriales*: se trata de silicatos de calcio (SiO<sub>3</sub>Ca) y de magnesio (SiO<sub>3</sub>Mg) que provienen, como residuos, de la industria del acero y del hierro. Pese a su muy lenta solubilidad, pueden utilizarse como correctores de la acidificación edáfica.

Para el correcto uso de todos estos materiales, es imprescindible contar con una normativa que defina las características mínimas que deben reunir. Como objetivo general, toda norma tiende a establecer disposiciones inequívocas que faciliten y regulen la comunicación y el intercambio comercial. Dentro de los límites definidos para su objeto y campo de aplicación, una norma debe ser lo suficientemente completa, coherente, clara y precisa como para sentar las bases que aseguren el progreso de una técnica, y debe poseer una redacción tal que permita su comprensión a personas capacitadas pero que no han tomado parte en su redacción.

En la Argentina, los materiales calcáreos de uso agropecuario están definidos por la Norma IRAM 22451 (26), que establece los requisitos, las condiciones de recepción y los métodos de ensayos para su uso y manipulación. En esa normativa, al material calcáreo se lo define como el producto constituido básicamente por calcio o por calcio y magnesio, que actúa como corrector de suelo y es fundamental para la nutrición vegetal.

La duración del efecto del encalado, que usualmente se extiende por dos a tres años, depende del manejo del suelo y de los cultivos que se implanten. También depende de la granulometría de los materiales -que condiciona su velocidad de reacción- y de la concentración del producto utilizado. Finalmente, también afectará la naturaleza calcítica o dolomítica del material, en función de que la deficiencia a corregir sea sólo de calcio o bien de calcio y magnesio.

La concentración y la granulometría de los materiales determinan el poder relativo de neutralización total (PRNT), que está compuesto por el Poder Neutralizador del material (PN) y su velocidad de reacción, Eficiencia Relativa (ER), quedando definida de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{PRNT (\%)} = \frac{\text{ER} \times \text{PN}}{100}$$

siendo:

PRNT: el poder relativo de neutralización total, expresado en gramos por cien gramos.

PN: el poder neutralizador del material, expresado en CO<sub>3</sub>Ca, en gramos por cien gramos, o porcentaje.

Basada en los valores de PRNT, la normativa reconoce cuatro categorías de calidad entre los materiales disponibles para la corrección de la acidez, conforme se resume en el Cuadro 8.

El poder neutralizador (PN) de la acidez se determina a través de una comparación con el valor neutralizante del carbonato de calcio (CO<sub>3</sub>Ca), que actúa como valor de referencia. Por ese motivo se denomina «equivalente en carbonato de calcio» (ECC) y se expresa en g de CO<sub>3</sub>Ca por cada 100 g del producto evaluado. Este valor de compara-

ción se determina a través de ensayos de laboratorio, donde se compara el material a evaluar con igual cantidad de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  puro y de similar granulometría. De esta manera se determinó el valor de neutralización de los diferentes óxidos, hidróxidos, bicarbonatos y carbonatos que están disponibles en el mercado.

En función de su concentración, un producto puede ser: a) *dolomítico*: cuando contiene más del 12% de óxido de magnesio (MgO), b) *magnesiano*: cuando la concentración de MgO está entre el 5 y 12%; y c) *calcítico*: cuando contiene menos del 5% de MgO.

Sobre los valores de PN, la norma IRAM 22451 designa a los materiales calcáreos de la forma que se presenta en el Cuadro 9.

Como puede observarse un producto dolomítico tiene un PN superior como consecuencia de la presencia de Ca y Mg; en ese contexto, siempre será más conveniente su utilización cuando se deba corregir el nivel de ambos elementos en el suelo. Como regla general se infiere que, desde un punto de vista práctico, a menores valores de PN se requerirán mayores cantidades de producto para corregir un determinado nivel de acidez en el suelo. Por otro lado, también es importante conocer en estos productos la presencia de otros elementos que pueden llegar a enriquecerlo y hacer más eficiente la corrección del problema. Respecto de la presencia de metales pesados tóxicos, la norma hace especial mención a que todo material agropecuario debe estar encuadrado dentro de la ley de Residuos Peligrosos (N° 24051), donde se establecen claramente los niveles a respetar para preservar la calidad y seguridad de los suelos.

La *eficiencia relativa (ER)*, que hace referencia a la velocidad de reacción que el producto tiene en el suelo en función de su granulometría (o tamaño de la partícula), es la otra cualidad que está definida en la norma mencionada. La regla general es que el material más fino reacciona más rápidamente y tiene menor residualidad en el tiempo; a medida que aumenta su tamaño, disminuye la velocidad de reacción y, por ende, su efecto se hace menos inmediato. La determinación de la ER se hace sobre la base de la cantidad de material retenido en seis tamices estandarizados, a los que les corresponde un valor ya definido de eficiencia Cuadro 10.

**CUADRO 8** – Categorías reconocidas de calidad de los materiales calcáreos para uso agropecuario según su Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT).

Calidad	PRNT (%)
Superior	Más del 90
Buena	Entre el 75 y 90
Regular	Entre el 60 y 74
Inferior	Entre el 45 y 59

**CUADRO 9** – Designación, composición química y equivalente de carbonato de calcio ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) en estado puro del poder neutralizador de distintos materiales calcáreos de uso agropecuario según la Norma IRAM 22451 (26).

Tipo	Designación IRAM	Composición química	Equivalente en $\text{CO}_3\text{Ca}$
I	Caliza	$\text{CO}_3\text{Ca}$	100
II	Dolomita	$\text{CO}_3\text{Ca} \cdot \text{CO}_3\text{Mg}$	$100x + 119y$
III	Conchilla	$\text{CO}_3\text{Ca}$	100
IV	Cal viva cálcica	CaO	178
V	Cal viva dolomítica	CaO . MgO	$178x + 250y$
VI	Cal hidratada cálcica	Ca (OH) <sub>2</sub>	135
VII	Cal hidratada dolomítica	Ca (OH) <sub>2</sub> . Mg (OH) <sub>2</sub>	$135x + 172y$

Referencias: x = % de CaO ; y = MgO

**CUADRO 10** – Nivel de eficiencia relativa (en %) que se asigna a los materiales calcáreos usados como enmiendas para corregir acidez en función de su granulometría. Adaptado de Norma IRAM 22451 (26).

Tamiz IRAM	Eficiencia Relativa (%)
2,36 mm	5
0,850 mm	17
0,450 mm	30
0,250 mm	55
0,150 mm	80
0,075 mm	100
< 0,075 mm	125

Los materiales de tamaño de partícula más fina (ER 80%) tienen reacción inmediata, por lo que aplicándolos entre dos y cuatro meses antes de la siembra del cultivo, podrán corregir la acidez de manera oportuna. El resto de los materiales, al ser de granulometría más gruesa, presentan reacciones más lentas y graduales, de forma que la corrección del problema de acidez puede demandar desde varios meses hasta, en los casos de ER ≈ 5%, un tiempo cercano a los 3 años. En el mercado también existen productos calcáreos peletizados, que por estar elaborados con materiales muy finos ( $\phi$  0,075 mm o inferiores) tienen una alta ER.

Tanto para el productor agropecuario como para el asesor técnico, disponer actualmente en la Argentina de materiales calcáreos debidamente especificados constituye un avance importante. Al beneficio de poder discernir sobre la calidad del producto, se suma la posibilidad de elegir aquel que más convenga a sus necesidades, dado que se garantizan cualidades de cada tipo como correctores de suelo y como nutrimento de las plantas.

### Determinación de los requerimientos

Existen diferentes criterios para decidir la cantidad de enmienda calcárea a agregar al suelo, dependiendo de si el objetivo es determinar la: 1) cantidad necesaria para corregir la acidez hasta un nivel de neutralidad (pH 6,5-6,8); 2) cantidad necesaria para disminuir la acidez hasta lograr un pH conveniente para el normal crecimiento del cultivo; 3) cantidad necesaria que aporte los cationes  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  con el propósito de incrementar su saturación en el complejo de intercambio; o 4) cantidad suficiente para favorecer la disponibilidad de fósforo y molibdeno.

El pH es un buen indicador de la acidez edáfica, pero por sí solo no determina el requerimiento o la cantidad de enmienda necesaria para llegar al rango de acidez requerido para el plan de rotación que se quiere llevar adelante. Por ejemplo, en los suelos clasificados como Molisoles y Alfisoles, el rango de pH óptimo para la producción de los cultivos está entre 6,5 y 7; por el contrario, en el caso de los Ultisoles y Oxisoles, la elevación del pH a valores cercanos a 5,5-5,7 mejora considerablemente la situación debido a la reducción del aluminio intercambiable ( $Al^{3+}$ ) que se produce.

En un suelo, es importante determinar la cantidad de cationes presentes ya que, como se mencionó anteriormente, una baja concentración de éstos es la causa principal de la acidez. En esta dirección, la determinación del porcentaje de saturación de bases constituye un elemento de juicio fundamental para el diagnóstico de problemas de acidez. Considerando el grado de saturación de tres de los cationes más importantes (Ca, Mg y K) y la capacidad de intercambio catiónico, se podría clasificar el estado de la relación entre ambas, como se resume en el Cuadro 11.

Existen muchos métodos para determinar la necesidad de enmienda calcárea a agregar, cuyo empleo se relaciona con el grado de conocimiento que se tenga de las características químicas de un suelo. Para la Región Pampeana podrían sugerirse los tres que se describen a continuación (18):

**CUADRO 11** - Categorización de la relación entre saturación de bases y capacidad de intercambio catiónico de un suelo.

	Calcio (%)	Magnesio (%)	Potasio (%)
Baja	< 60	< 5	< 1,5
Moderada	60 – 70	5 – 6	1,5 - 3,0
Alta	> 70	> 6	> 3,0

1) *Método del cálculo de saturación de bases:* la necesidad de encalado surge de cotejar la actual saturación de bases con

la deseada, asumiendo que existe una relación entre la saturación de bases y el pH deseado. Es el método más utilizado y la corrección de la acidez surge de la siguiente fórmula:

$$\text{Necesidad de encalado (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{CIC} \times (\text{V2} - \text{V1})}{100}$$

siendo:

CIC: capacidad de intercambio catiónico, extraído con acetato de amonio 1N.

V1: porcentaje actual de saturación de bases del suelo, obtenida por la relación: suma de bases x 100 / CIC.

V2: porcentaje deseado de la saturación de bases.

La cantidad obtenida puede ser ajustada según el PRNT (38):

$$\text{Necesidad de encalado (t/ha)} = \frac{\text{CIC} \times (\text{V2} - \text{V1})}{100} \times f$$

siendo  $f = 100/\text{PRNT}$

2) *Método del buffer SMP*: consiste en medir el descenso del pH de una suspensión de suelo en una solución reguladora (buffer). Este descenso se relaciona con valores ya tabulados que determinan la cantidad de enmienda necesaria a agregar para alcanzar el pH deseado. No existe demasiada información sobre su uso en la Región Pampeana y las dosis resultantes son superiores a las indicadas por el método antes mencionado (saturación de bases).

3) *Método de curvas de neutralización*: se basa en la incubación de una muestra de suelo con dosis crecientes de carbonato de calcio por un período suficiente que permita alcanzar el punto de equilibrio; seguidamente, el suelo es analizado y se obtiene de esta manera la dosis necesaria de enmienda para lograr las transformaciones que se desean (pH, contenido de calcio y/o magnesio). En general, este método es utilizado como patrón de ajuste de los otros dos métodos anteriores. No es comúnmente empleado como elemento de diagnóstico porque su implementación insume demasiado tiempo.

## Resultados observados

La corrección de la acidez edáfica a través del encalado posibilita la obtención de efectos beneficiosos en la fertilidad de los suelos, los que pueden agruparse en aspectos químicos, físicos y biológicos. A continuación se ofrecerá una breve descripción de cada uno de ellos.

a) *Beneficios químicos*: la corrección de la acidez puede favorecer considerablemente la concentración de fósforo extractable (P) en la solución del suelo, debido a que se produce la ruptura de los compuestos insolubles que el P forma con el aluminio (Al) y el hierro (Fe) a valores bajos de pH. Cuando la acidez es corregida, esos dos elementos –al dejar de estar acomplejados con el P– precipitan como hidróxidos. En igual sentido, la corrección de la acidez favorece también la eficiencia del uso de fertilizantes fosforados, dado que evita la formación de esos complejos insolubles. Otro efecto benéfico importante derivado de la corrección de acidez se relaciona con los micronutrientes, dado que la solubilidad de todos ellos –a excepción del molibdeno– aumenta a valores de pH ácido, a punto tal que muchos de ellos pueden alcanzar niveles tóxicos para la alfalfa. Finalmente, también los microorganismos responsables de la descomposición de la ma-



teria orgánica y de la liberación de nitrógeno, fósforo y azufre aumentan su número y actividad con la disminución de la acidez (25).

b) *Beneficios físicos*: la estructura del suelo mejora con el agregado de enmiendas calcáreas como consecuencia de que el calcio favorece la generación y la estabilidad de los agregados, disminuyendo el encostramiento y facilitando la emergencia de las plántulas de alfalfa. Por otro lado, una mejor estructura posibilita una adecuada aireación del suelo y una mayor infiltración del agua de lluvia. Pabón y col. (33) determinaron que la aplicación de diferentes cantidades de escorias de siderurgia (PRNT= 97,12) produjo un aumento de la velocidad de infiltración del agua. A los 18 meses de la aplicación, midieron valores de infiltración de 22,3, 26,6 y 36,6 mm h<sup>-1</sup> para las dosis de 1, 2 y 3 tn ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Dado que el suelo testigo (sin enmienda) tuvo un valor de 16,9 mm h<sup>-1</sup>, la corrección de la acidez significó aumentos en la velocidad de infiltración de 32, 57 y 116% respecto de las dosis señaladas.

c) *Beneficios biológicos*: la acidez afecta la actividad de los microorganismos del suelo involucrados en los procesos de amonificación, nitrificación, desnitrificación e inmovilización del N, pudiendo modificar por ende la disponibilidad de este elemento. La actividad fijadora de nitrógeno atmosférico (N<sub>2</sub>), tanto biológica simbiótica como no simbiótica, se ve severamente reducida cuando el suelo es ácido. La relación simbiótica fija una menor amplitud de pH óptimo para el crecimiento de la alfalfa, dado que *Sinorhizobium meliloti* es más eficiente en un rango de pH 6,8 – 7,0 (25). Tanto la iniciación y el establecimiento como el funcionamiento de la simbiosis entre la leguminosa hospedante y el rizobio específico se tornan más complejas y sensibles en un medio ácido.

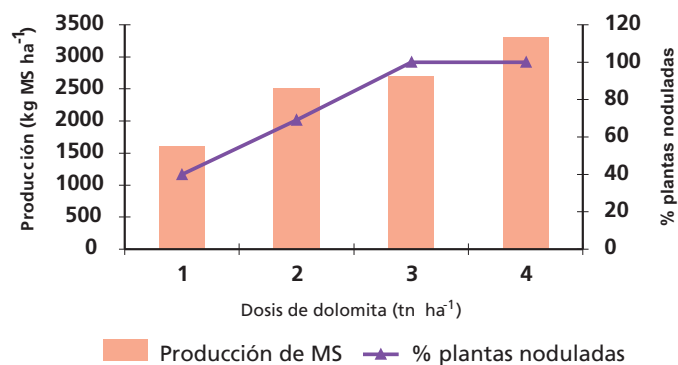


FIGURA 9 - Masa nodular (g en 15 plantas) registrada a los 5 meses de la siembra en plantas de alfalfa inoculadas con rizobios (testigo), inoculadas y fertilizadas con P, e inoculadas, fertilizadas y encaladas. Adaptado de Toniutti y col. (41).

La acción negativa de los pH bajos sobre la fijación simbiótica puede estudiarse desde tres niveles: 1) supervivencia y colonización del rizobio; 2) formación de nódulos; y 3) funcionalidad de nódulos.

Toniutti y col. (41) estudiaron el efecto de la nodulación sobre la producción de alfalfa en la zona central de la provincia de Santa Fe, en suelos con pH corregidos a valores entre 6,2 y 6,4 previo a la siembra del cultivo. Observaron que el encalado produjo un importante incremento en el número de nódulos a los 5 meses de implantada la alfalfa (Figura 9), con recuentos que superaron ampliamente lo registrado en el testigo.

Estas diferencias incidieron notablemente en el rendimiento de la alfalfa durante en el primer año de producción, donde el tratamiento encalado superó en 150% al del testigo.

Un resultado similar encontró Casas (8) en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, donde un aumento en el valor de pH favoreció la nodulación y la producción de la alfalfa (Figura 10).

d) *Beneficios sobre la densidad y la longevidad de la pastura:* la disminución del número de plantas en una pastura de alfalfa durante el año de implantación y subsiguientes, en relación con la densidad inicial (plántulas emergidas), también reconoce a la acidez del suelo como una de sus causas. Jove (27), trabajando en el sur de la provincia de Córdoba, observó mayores densidades de plantas y mayores niveles de persistencia en lotes de alfalfa a los que se les había corregido el pH del suelo a valores superiores a 6 por efecto del encalado Cuadro 12.

Carta y col. (7), en una experiencia realizada en Junín, provincia de Buenos Aires, determinaron al cabo de tres años una cobertura de 46% en una alfalfa sin encalar (testigo), mientras que el tratamiento que recibió 2 tn ha<sup>-1</sup> de caliza registró una cobertura de 75,9%.

e) *Beneficios sobre la producción de forraje:* la mejora de las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo que se logran con el agregado de enmiendas calcáreas, incrementan los rendimientos de la alfalfa. Como esas mejoras normalmente perduran en el tiempo, el efecto en la producción de la alfalfa puede ser realmente importante. Por ejemplo, Carta y col. (7), en el mismo ensayo mencionado anteriormente, obtuvieron a lo largo de tres años un 45% más de producción forrajera en el tratamiento encalado respecto de testigo sin enmendar. Similares resultados se obtuvieron en la provincia de Santa Fe, donde en diferentes ensayos con enmiendas calcíticas se registraron incrementos de rendimiento de materia seca de alfalfa del orden del 30% (34), y del 34% al 61% (21), respecto del testigo sin corregir. Estas mayores producciones significaron la obtención de 5 a 9 rollos ha<sup>-1</sup> adicionales. Es importante consignar que, para las situaciones antes comentadas, los aumentos de rendimiento justificaron ampliamente el costo de las enmiendas calcáreas. Por otro lado, si se considera que la amortización de la inversión se divide en varios años, la rentabilidad de la práctica se torna todavía más interesante.

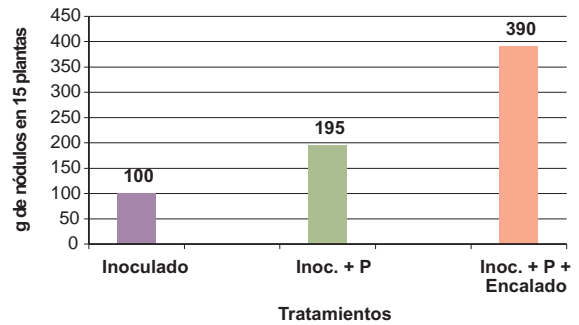


FIGURA 10 - Efecto del encalado sobre la producción de materia seca y el porcentaje de plantas noduladas de alfalfa. Valores promedio de dos ensayos en el NO de Buenos Aires. Adaptado de Casas (8).

CUADRO 12 – Densidad de plantas y persistencia (% de pérdida respecto de la población inicial) en ensayos de alfalfa sobre suelos con pH < 6 y corregidos a valores > 6. Recuentos realizados a los 540 días de la siembra. Adaptado de Jove (27).

Experiencia	Testigo	Encalado	Testigo	Encalado
	Plantas (m)		% disminución sobre densidad inicial	
1	51	60	37,3	18,3
2	53	59	43,4	28,8
3	53	62	52,8	40,3

## Consideraciones finales

Para producir altos rendimientos de forraje, la alfalfa exige suelos bien provistos de los macro y micronutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. En prácticamente toda la Región Pampeana el cultivo cubre sus requerimientos de nitrógeno a través de la fijación simbiótica (ver Capítulo 4). Tampoco se han observado deficiencias generalizadas de potasio o magnesio. No obstante, en los últimos años se están detectando crecientes respuestas positivas a la fertilización con fósforo en muchas zonas. Un comentario similar, aunque en bastante menor medida, puede hacerse respecto de la

fertilización con Azufre. Por el contrario, los cultivos de alfalfa en la Región Pampeana no han registrado hasta el presente síntomas generalizados de deficiencias significativas de micronutrientes.

El uso de enmiendas calcáreas para la corrección de la acidez edáfica produce siempre efectos positivos en el suelo. Cuando se parte de suelos muy ácidos, y se eleva el pH a valores de entre 5 y 5,5, el incremento de los rendimientos de la alfalfa suele ser muy importante. Por el contrario, si se parte de un nivel de pH cercano a 6 y se pretende elevarlo a valores de alrededor de 6,5, no siempre la respuesta productiva del cultivo es significativa. Sin embargo, aun en esta última situación, un efecto siempre presente, aunque no necesariamente observable es la mejora de las propiedades del suelo. En este contexto, se alcanza el principal objetivo que debería fijarse todo profesional o productor agropecuario y que es el de *PRODUCIR CONSERVANDO*.

## Bibliografía

- 1- BARRIGI, C., N. ROMERO y G. SCHENKEL. 1975. Deficiencias nutricionales de suelos pampeanos para el cultivo de la alfalfa determinadas mediante experimentos en macetas. EERA INTA Anguil. Proyecto FAO-INTA. 71 / 548. Documento de Trabajo Nro. 2, 17 p.
- 2- BERARDO, A. 1976. Método de diagnóstico para la fertilización fosfatada en los suelos del sudeste bonaerense. IDIA (Supl.) 33: 337-50
- 3- BERARDO, A. 2000. Dinámica del fósforo en el sistema suelo-planta: eficiencia, residualidad y manejo de la fertilización. *In*: INPOFOS (org) Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales «Fertilidad 2000». Rosario, Abril 28, pp. 4-10.
- 4- BORDOLI, J. M. 1998. Fertilización de pasturas de leguminosas y mezclas de gramíneas y leguminosas. Jornada de Fertilización en Cultivos y Pasturas. EEA Concepción del Uruguay-INTA, s/p.
- 5- BOSCHETTI, G., C. QUINTERO y R. BENAVIDEZ. 1996. Residualidad del fertilizante fosfatado en pasturas consociadas de Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del Suelo* 14: 20-23.
- 6- BRUNO, O. y L. ROMERO. 1997. Evaluación de cultivares de alfalfa bajo corte. *In*: Información Técnica para Productores 1995-1996. EEA Rafaela INTA, pp 1-2.
- 7- CARTA, H., L. VENTIMIGLIA y L. CARLOS. 1997. Efecto de la corrección de la acidez del suelo en la producción de forraje de alfalfa. *Revista de Téc. Agropec. INTA EEA Pergamino Vol II (4)*: 36-19.
- 8- CASAS, R. 1999. Enmiendas cálcicas en la producción de alfalfa. *Agromercado. Cuadernillo Lechero* 31: 59-63.
- 9- CONTI, M., A. M. DE LA HORRA, N. M. ARRIGO y A. MARCHI. 1997. Fertilización e interacción K-P sobre el rendimiento de alfalfa en un Haplustol Típico (Zona Semiárida, Argentina). *Ciencia del Suelo* 15: 51-52.
- 10- CRUZATE, G. y R. CASAS. 2003. Necesidades de Nutrientes en la Agricultura Argentina. *In*: Jornadas Internacionales sobre Uso de Minerales para una Agricultura Sustentable – Fertilizantes y Correctores de Suelos. Organizada por Proyecto Fertilizantes de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Cooperación Iberoamericana y la Cámara Argentina de Empresarios Mineros. INTA Pergamino, Sept. 11y 12. (<http://www.fertilizar.org>)
- 11- CULOT, J. PH. 1986. Nutrición mineral y fertilización en el ambiente de la Región Pampeana. *In*: C. Bariggi, C. D. Itria, V. L. Marble y J. M. Brun (eds.) Investigación, Tecnología y Producción de Alfalfa. Colección Científica INTA, Tomo XXII, Cap. 4. Buenos Aires, pp. 81-117.
- 12- DARWICH, N. 1992. Fertilización de Praderas. *In*: Primer Congreso Mundial sobre Producción, Utilización y Conservación de Forrajes Empleados en la Alimentación de la Ganadería Vacuna – Forrajes '92. Buenos Aires, 4-6 Noviembre, pp. 77-86.
- 13- DÍAZ-ZORITA, M. y M. FERNÁNDEZ CANIGIA. 1998. Azufre y nitrógeno en la implantación de pasturas perennes en la región de la Pampa Arenosa. *Ciencia del Suelo* 16: 103-106.
- 14- DÍAZ-ZORITA, M., O. PERALTA y G. GROSSO. 1998. Fertilización nitrogenada en pasturas de alfalfa y festuca en el noroeste bonaerense. *Rev. Arg. Prod. Animal* 18: 97-98.

- 15- DÍAZ-ZORITA, M., M. BARRACO y O. PERALTA. 2003. Efecto de la fertilización nitrogenada y la interseembra con raigrás perenne en la acumulación de forraje de alfalfa en producción. *Rev. Arg. Prod. Animal* 23: 120-121.
- 16- DÍAZ-ZORITA, M. y D. E. BUSCHIAZZO. 2004. Alfalfa production as a function of soil extractable phosphorus in the semi-arid Pampas. *Better Crops Int.* 88: 24-27.
- 17- ESPINOSA, J. y E. MOLINA. 1999. Acidez y Encalado de Suelos. INPOFOS. Oficina Regional para el Norte de Latinoamérica, 42 p.
- 18- FERTILIZAR. Encalado. 1996. *In*: R. Melgar (ed) Proyecto Fertilizar. Número especial. EEA Pergamino-INTA, 14 p.
- 19- FONTANETTO, H. y O. KELLER. 1999. Fertilización azufrada en alfalfa. *Agromercado. Cuadernillo de Forrajeras* 30: 7-9.
- 20- GAMBAUDO, S. 1998. Encalado de suelos ácidos para la producción de alfalfa. *In*: R. Melgar (ed) Proyecto Fertilizar. EEA Pergamino-INTA. Pasturas: 24-26.
- 21- GAMBAUDO, S., A. ZAMPAR, L. TOMATIS y O. QUAINO. 2001. Respuesta de la alfalfa a la aplicación de dos enmiendas calcáreas. INPOFOS. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 12: 4-6.
- 22- GARCÍA, F. O., M. L. RUFO e I. C. DAVEREDE. 1999. Fertilización de pasturas y verdeos. INPOFOS. *Informaciones Agronómicas de Cono Sur* 1: 2-11.
- 23- GARCÍA, F., F. MICUCCI, G. RUBIO, M. RUFO e I. DAVEREDE. 2002. Fertilización de forrajes en la Región Pampeana. INPOFOS Cono Sur (1° ed), Buenos Aires, 76 pp.
- 24- HANNAWAY, D. and P. SHULER. 1993. Nitrogen fertilization in alfalfa production. *J. Prod. Agric.* 6 (1): 80-85.
- 25- HONDA, C. y A. HONDA. 1990. Acidez. *In*: C. Honda e A. Honda (eds) *Cultura da Alfafa*. Cambará, IARA Artes Gráficas Ltda., Brasil, pp. 165-176.
- 26- IRAM. 1997. Instituto Argentino de Normalización. Norma 22451. Materiales calcáreos para uso agropecuario. *Requisitos y Métodos de Ensayo*, 18 p.
- 27- JOVE, P. 1977. Experiencias de encalado de alfalfa en el sur de la Pcia. de Córdoba. *In*: II Jornadas Nacionales sobre Corrección y Mejoramiento de Suelos con Encalado. Convenio ENCaLAR- INTA-Universidad Nacional de Córdoba-Universidad Tecnológica Nacional. Vaqueñas, Córdoba, Nov. 13-14.
- 28- KOENIG, R., C. HURST, J. BARNHILL, B. KITCHEN, M. WINGER and M. JOHNSON. 1999. Fertilizer management for alfalfa. Utah State University. Extension Electronic Publishing AG-FG-01 (<http://extension.usu.edu/files/agpubs/ag-fg-01.pdf> (fecha consulta: 2/8/05)).
- 29- LOEWY, T. y M. RON. 1992. Fertilización fosfórica de alfalfa en dos suelos del sudoeste bonaerense. *Rev. Fac. Agron. UBA* 13: 1-10.
- 30- LOEWY, T. 1994. Fertilización de pasturas perennes. EEA INTA Bordenave. *Boletín de Divulgación* Nro. 35.
- 31- MELGAR, R., J. LAVANDERA y M. CAMOZZI. 2000. Alfalfa: la fertilización balanceada es la clave para la alta productividad. *In*: AAPRESID (org) *Jornadas de Intercambio Técnico «Pasturas en Siembra Directa»*, pp. 52-59.
- 32- MELGAR, R. 2004. Actual and Potential Use of Micronutrient Fertilizers in Argentina. IFA. International Symposium on Micronutrients. New Delhi. India. *En CD*.
- 33- PABÓN, J., E. STROBELT, J. MINA, C. RIVA, W. GRIVA, L. PEURGINI, M. SIBUET, N. GILARDONI y W. HOFER. 2003. Utilización de escorias siderúrgicas en suelos agrícolas de la Región Pampeana. INTA AER Roldán. *Informe Interno*, 22 pp.
- 34- PILATTI, M., J. MOLLO, C. TEMPLADO y A. QUIÑÓNEZ. 1998. Alfalfa de alta productividad en suelos del centro de Santa Fe. I - Respuesta productiva a la corrección del pH y adición de fósforo. *Revista CREA* 209: 44-48.
- 35- QUINTERO, C., G. BOSCHETTI y R. BENAVIDEZ. 1993. Respuesta a la fertilización fosfatada en pasturas. *In*: *Actas XIV Cong. Arg. de Ciencia del Suelo*. Mendoza, pp.119-120.
- 36- QUINTERO, C., G. BOSCHETTI y R. BENAVIDEZ. 1999. Alfalfa - Refertilización Fosfatada: ¿cuándo, cómo y por qué?. *Fertilizar* 17: 8-11.
- 37- QUINTERO, C., G. BOSCHETTI, J. MAYER, M. BARRERA y R. BENAVIDEZ. 1999. Alfalfares bien nutridos. *Fertilizar* 14: 8-12
- 38- RAUN, W. R., G. V. JOHNSON, S. B. PHILLIPS, W. E. THOMASON, J. L. DENNIS and D. A. COSSEY. 1999. Alfalfa yield response to nitrogen applied after each cutting. *Soil Science Society of America Journal* 63: 1237-1243.

- 39- SUÁREZ FERNÁNDEZ, D. 1992. Antecedentes técnicos y económicos para el manejo de suelos ácidos del país: elección de fertilizantes y uso de enmiendas. *Panorama Económico de la Agricultura* 81: 19-23.
- 40- TISDALE, S., W. NELSON, J. BEATON and J. HAVLIN. 1993. *Soil Fertility and Fertilizers*. Macmillan Publishing Company. Chapters 3: Elements required in plant nutrition and 10: Soil acidity and basicity.
- 41- TONIUTTI, M. A., L. FORNASERO y D. TENORIO. 1977. La alfalfa: inoculación, fertilización y encalado. *In: II Jornadas Nacionales sobre Corrección y Mejoramiento de Suelos con Encalado*. Convenio ENCaLAR-NTA-Universidad Nacional de Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional. Vaquerías, Córdoba, Nov. 13-14.
- 42- VAN RAIJ, 1991. Fertilidade do Solo e Adubação. Ed. Agronômica Ceres Ltda-Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Capítulos 8: Acidez e calagem; y 16: Correção do solo.
- 43- VIVAS, H. 1995. Toxicidad de fertilizantes sobre plántulas de alfalfa. *In: Información Técnica para Productores*. EEA Rafaela-INTA, 2 p.
- 44- VIVAS, H. 2000. Alfalfa: Influencia del calcio en la eficiencia de la fertilización fosfatada en Departamento Las Colonias y Capital (Santa Fe). *In: AAPRESID (ed) Jornadas de Intercambio Técnico «Pasturas en Siembra Directa»*, pp. 71-72.
- 45- VIVAS, H. y O. QUAINO. 2000. Fertilización y refertilización fosfatada de alfalfa en un suelo del Centro-Este de Santa Fe, con y sin enmienda cálcica. *In: INPOFOS (org) Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales «Fertilidad 2000»*. Rosario, Abril 28, pp. 11-13.
- 46- VIVAS, H. 2001. Fertilización de alfalfa con azufre y boro en el área Centro-Este de Santa Fe. *Revista Argentina de Producción Animal* 21 (Supl. I): 114-115.
- 47- VIVAS, H. y H. FONTANETTO. 2003. Fuentes azufradas con y sin aplicación de calcio en la producción de alfalfa. *In: INPOFOS (org) Simposio «El fósforo en la Agricultura Argentina»*. Rosario, Mayo 8-9, pp.89-90.
- 48- YAMADA, T. 2004. Micronutrient deficiencies: occurrence, detection and correction. The successful Brazilian experience. IFA. International Symposium on Micronutrients. New Delhi. India. En *CD*.



## Crecimiento y manejo de la defoliación

*Ing. Agr. (MSc) Carlos A. Cangiano*  
EEA Balcarce - INTA



## Introducción

El crecimiento de un cultivo está dado por el incremento en peso, que, a su vez, es principalmente el resultado del intercambio neto de carbono entre la planta y su ambiente, a través de la fotosíntesis. Posteriormente, el proceso se completa con la partición de los fotosintatos entre las porciones cosechables y no cosechables del cultivo.

El órgano principal de intercambio de  $\text{CO}_2$  es la hoja (115). En la planta, la tasa de fotosíntesis neta disminuye progresivamente desde el ápice a la parte basal de los tallos, lo que implica que las hojas jóvenes tienen los mayores valores (63). En el canopeo, las hojas viejas están sujetas a una radiación fotosintética subóptima; también las hojas sombreadas tienen su capacidad fotosintética reducida, aun cuando, como sucede luego del pastoreo, puedan verse expuestas a alta radiación (115).

La tasa fotosintética también varía a través de la estación de crecimiento (44), pudiendo ser menor en los meses más cálidos, cuando la temperatura supera los  $30^\circ\text{C}$ . Esto, sumado al déficit hídrico que normalmente ocurre en esa época, podría explicar la disminución de valores de producción que suele ocurrir en la alfalfa durante el verano. Por otro lado -y en comparación al resto de las leguminosas-, la alfalfa es capaz de mantener altas tasas de fotosíntesis en un amplio rango de temperaturas (Figura 1), lo que sustentaría su adaptación a distintas regiones del mundo (88).

El uso eficiente de la luz solar requiere un canopeo de hojas con alta capacidad para interceptar la máxima cantidad posible de radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi). La relación entre la RFAi y la fotosíntesis del canopeo está influenciada por el índice de área foliar (IAF). En alfalfa, a medida que el IAF se incrementa, la interceptación de la radiación aumenta hasta un valor máximo de 95 %, que corresponde a un IAF = 5 (69); paralelamente con esta evolución, también aumenta la asimilación del  $\text{CO}_2$  (101). No obstante, Woodward y Sheehy (116) observaron que en un rebrote de primavera, el IAF puede alcanzar un valor de 6, en coincidencia con la aparición del botón floral. A partir de allí, el IAF comienza a disminuir por la reducción del tamaño de los folíolos y la pérdida de hojas por senescencia o defoliación, causadas por las enfermedades y/o el sombreado. En consecuencia, si bien el IAF llega a su máximo en un momento en que la RFA interceptada es prácticamente completa (63), la tasa de acumulación de la biomasa neta disminuye en respuesta a la pérdida de hojas.

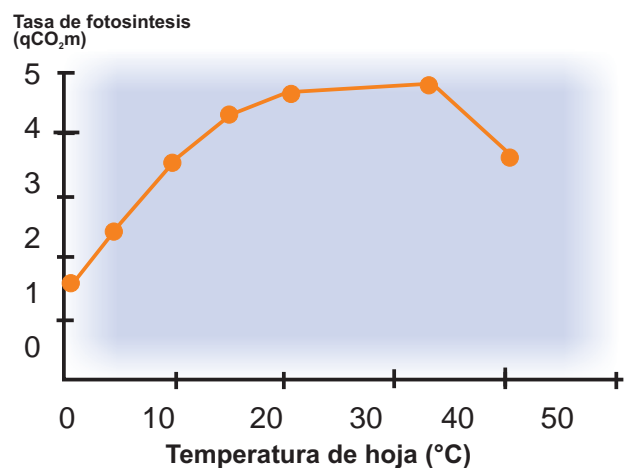


FIGURA 1: Relación entre temperatura de hoja y tasa de fotosíntesis. Adaptado de Nelson y Moser (88).

La eficiencia con la que el cultivo intercepta la RFAi está determinada también por la estructura del canopeo (101). Una indicación de la estrategia desarrollada por la alfalfa para interceptar la radiación puede lograrse examinando el IAF en relación con la altura de la planta (Figura 2). Si bien la distribución del área foliar varía a través del tiempo y entre los sucesivos rebrotes, se observa que -hasta dos semanas antes del corte- los canopeos vegetativos tienen generalmente la mayor concentración de hojas en los estratos superiores. A principios de floración, la distribución del área foliar tiene una marcada concentración en los estratos intermedios; algo similar ocurre con el peso de las hojas, expresadas tanto como porcentaje como peso por unidad de superficie.

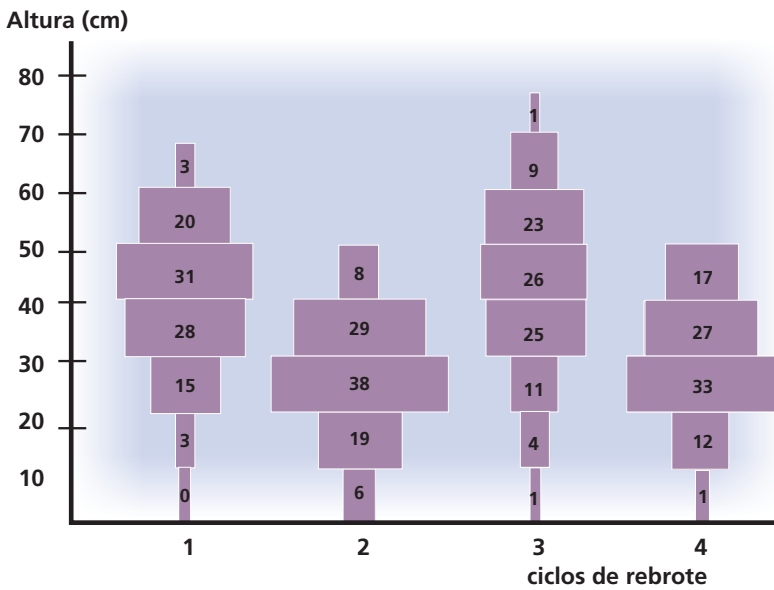


FIGURA 2: Distribución porcentual del índice de área foliar (IAF) por estratos de canopeo a través de ciclos de rebrote. Adaptado de Heichel y col. (69).

Los cambios de distribución de área foliar en función de la altura a medida que la planta avanza en su fenología, reflejan la falta de formación de hojas en los estratos superiores, el incremento en la caída de hojas basales y la reducción del crecimiento. Como resultado, aumenta la concentración de tallos en la base de la planta, lo que tiene un marcado efecto sobre la calidad del forraje y, por ende, sobre la selección de la dieta y el consumo por parte de los animales en pastoreo.

## Relación entre tasa de acumulación y fitomasa acumulada

Todo sistema ganadero que apunte a una alta productividad  $ha^{-1}$  debe considerar regularmente un método de presupuestación forrajera para la adecuada planificación de la alimentación animal. La oferta de forraje se puede visualizar a través de la estimación de la tasa diaria de acumulación del forraje (TA) (25). La distribución de la TA a través del año puede ser uni o bimodal -de acuerdo principalmente con las precipitaciones- y si bien puede registrar importantes variaciones tanto entre años como dentro de cada año, las diferencias entre cultivares no serían mayormente importantes (Figura 3).

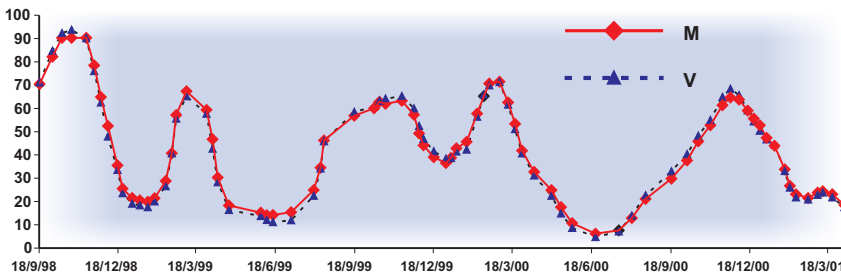


FIGURA 3: Tasa de acumulación de forraje ( $Kg MS ha^{-1} día^{-1}$ ) en los cultivares de alfalfa Monarca SP INTA (M) y Victoria SP INTA (V). Adaptado de Pece y Cangiano (91).

Luego de una defoliación, y a medida que se comienza a acumular el tejido fotosintético, la TA va incrementándose lentamente hasta llegar a una tasa máxima (*fase exponencial*), que puede mantenerse por un período más o menos prolongado (*fase lineal*) (68). A continuación, si bien con una TA que declina rápidamente, la acumulación de materia seca continúa hasta llegar a un límite o «techo» de fitomasa. A partir de allí, cuando las pérdidas por respiración y descomposición igualan a las ganancias por fotosíntesis, la acumulación de forraje se hace nula (*asintosis*).

En general, la relación entre TA y fitomasa adquiere la forma del modelo teórico mostrado en la Figura 4; sin embargo, cuando se intenta obtener un modelo conceptual que explique esa relación en alfalfa, se observan grandes variaciones. Comúnmente, las máximas TA se dan entre los 2.500 y 4.500  $kg MS ha^{-1}$ ; a partir de esos valores, las TA disminuyen bruscamente. Los valores máximos de acumulación del forraje varían con la época del año, la longitud del período de acumulación y la altura del canopeo. Por ejemplo, a partir de una acumulación de 2.500-3.000  $kg MS ha^{-1}$  durante el otoño, las TA disminuyen marcadamente; por el contrario, en plena primavera esa disminución puede producirse sólo a partir de los 4.000-4.500  $kg MS ha^{-1}$ .

## Relación entre acumulación de forraje y ambiente

La TA de un cultivo es función de la radiación incidente y de la eficiencia con que ésta es interceptada y convertida en biomasa. Mientras la radiación solar, a través de la fotosíntesis, es la fuerza primaria que determina el límite superior de la productividad potencial, la temperatura y las lluvias cumplen un rol modulador en la determinación de la proporción del potencial productivo registrado en un sitio [Snaydon (1991), citado por Nelson y Moser (88)].

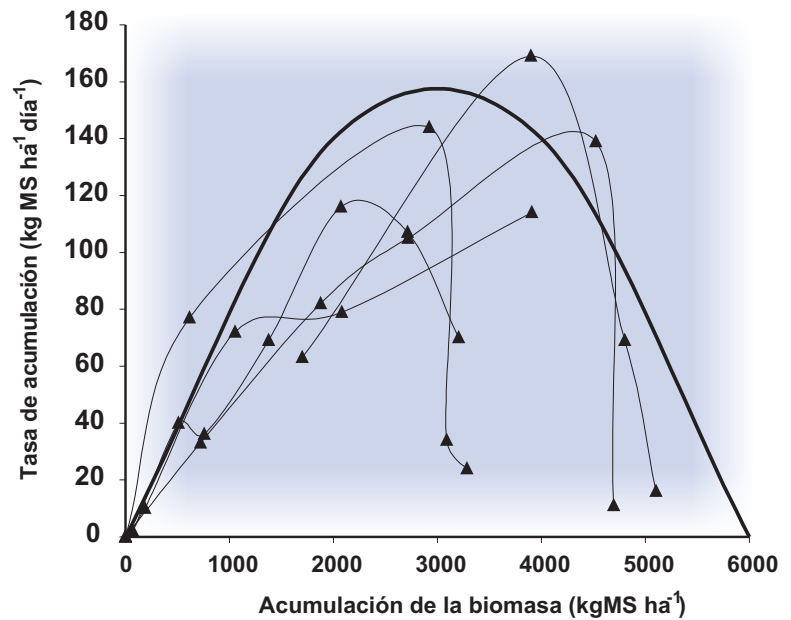


FIGURA 4: Tasa de acumulación de forraje en función de la fitomasa aérea acumulada. Adaptado de Woodward y Sheehy (116), Baccaro (3), Lattanzi (80) y Pece (90) [Tomado de Cangiano (22)].

## Temperatura y humedad

El área foliar en plena expansión es afectada por la temperatura, registrándose los valores máximos con temperaturas próximas a los 20-25°C (35). A temperatura más bajas, el área foliar disminuye gradualmente; y a temperaturas mayores, el área foliar disminuye más rápidamente (18, 57). Con un régimen térmico de 34/25°C durante día/noche, la alfalfa exhibió una mayor respiración de tallos y raíces y una menor área foliar (2). La temperatura también puede afectar las características anatómicas de hojas de alfalfa, dado que a los 20-25 °C las células y los espacios intercelulares son mayores que a los 30-35 °C. El menor tamaño y la mayor densidad de células en empalizada obtenidos con las mayores temperaturas podrían imponer una barrera a la difusión del CO<sub>2</sub> (18). Estas diferencias anatómicas podrían explicar -al menos parcialmente- la baja producción de la alfalfa con las elevadas temperaturas de verano. Sin embargo, de acuerdo con algunos estudios que se centraron en el déficit hídrico, se demostró que la alfalfa irrigada no disminuyó su producción estival (31, 55), lo que reflejaría que el estrés hídrico -más que la alta temperatura- sería el causante de la mencionada caída de la producción de forraje. En nuestro país, bajo condiciones de regadío (12, 67) o de suficiente precipitación primavera-verano (22), el modelo de acumulación de forraje es unimodal (Figura 5); por el contrario, bajo condiciones de sequías estacionales, la curva es generalmente bimodal [99, 90 (Figura 3)].

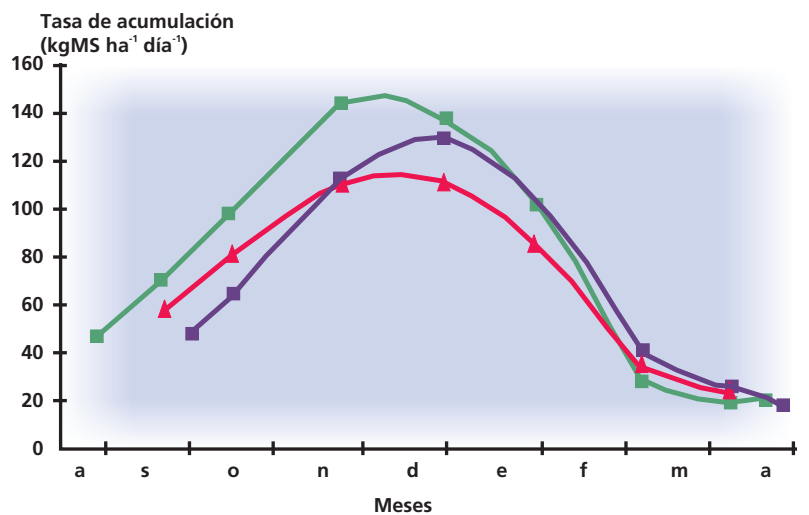


FIGURA 5 - Tasa estacional de acumulación de forraje en alfalfa bajo adecuadas condiciones hídricas durante primavera-verano en Balcarce. Tomado de Cangiano (22).

El déficit de agua tiene efectos distintos según el momento en que se produce. Si ocurre al



inicio del rebrote, tanto la RFA interceptada como la producción de forraje serán severamente reducidas (50); por el contrario, si ocurre hacia el final del rebrote, el efecto sobre la interceptación de la radiación y la producción será sensiblemente menor. En condiciones de campo, es común que en la Región Pampeana se produzcan deficiencias de agua en distintos momentos del año, ya que la lluvia -por la variabilidad de su intensidad, duración y cantidad a lo largo del tiempo- presenta una distribución cambiante tanto entre años como dentro de cada temporada (46). Estas variaciones determinan las marcadas diferencias de producción de forraje a lo largo del ciclo productivo y, por ende, condicionan la carga y la producción animal correspondientes.

## Radiación incidente

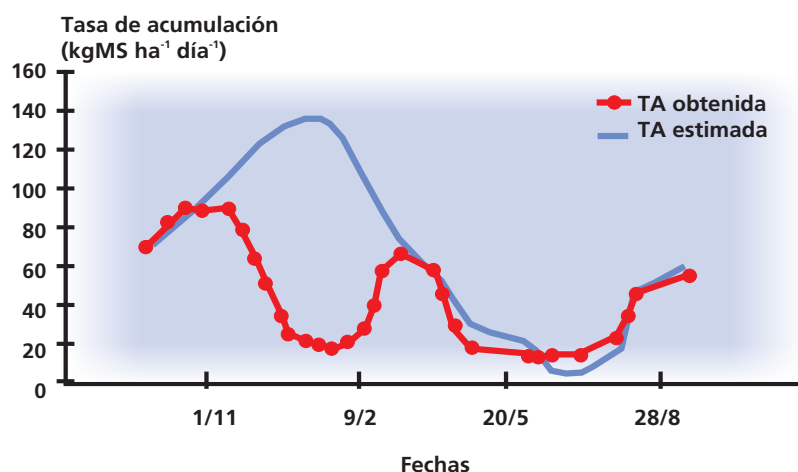
Debido a variaciones en latitud y en nubosidad, la cantidad de radiación que llega al canopeo de un cultivo difiere marcadamente entre regiones. Además, el largo del día y la duración de la estación de crecimiento tienen un efecto marcado sobre la acumulación de radiación diaria y anual. El largo de la estación de crecimiento está usualmente establecido por la temperatura y/o por el estrés hídrico (88). La radiación solar incidente sigue un patrón estacional, presentando los máximos valores en la mitad del verano. La variación estacional de la radiación incidente se correlaciona con el cambio estacional de la temperatura ambiente. En Balcarce, y posiblemente en otras áreas templadas de la Región Pampeana, las temperaturas medias durante el verano no alcanzan valores lo suficientemente altos como para afectar de manera negativa la TA; en consecuencia, la disminución estival de la TA se debería principalmente a la deficiencia de agua. En esta localidad, bajo condiciones de agua durante la primavera, el otoño y el invierno (90), la radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi) explicó un alto porcentaje de la TA, de acuerdo con la siguiente ecuación (22):

$$y = -49,5 + 17,2 \times \text{RFAi}$$

$$R^2 = 0,88$$

donde:  $y$  = tasa de acumulación ( $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ );  $x$  = RFAi ( $\text{Mj m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )

El rango de RFAi para este modelo fue de 3,01 a 7,62  $\text{Mj m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . Sobre la base de esta ecuación, y usando las RFAi observadas, se estimó la TA para todo el ciclo de producción (Figura 6). Para el período primavera-verano, tanto el patrón de distribución unimodal como



las TA máximas observadas coincidieron no sólo con lo esperado sino también con los valores obtenidos en otras localidades del país (12) y del extranjero (31, 55).

Aún cuando la radiación es una de las variables más importantes, no se debe dejar de tener en cuenta el resto de los factores que pueden incidir sobre la TA del forraje. Pece y col. (92), analizando información de cuatro años, concluyeron que el déficit hídrico y la radiación incidente -como parámetros me-

**FIGURA 6** - Tasa diaria de acumulación de MS alfalfa obtenida y estimada en función de la radiación incidente (RFAi) en Balcarce en el ciclo 1998/99. Tomado de Cangiano (22).

teorológicos- y el grado de cobertura de suelo y la edad de la alfalfa -como parámetros del cultivo- explicaron la mayor parte de la TA obtenida.

## Acumulación de reservas

Aunque el concepto de reservas hace referencia a varios compuestos en forma simultánea, los carbohidratos no estructurales (CHNE) son los que han sido objeto de la mayor cantidad de estudios destinados a explicar su relación con la persistencia y la productividad de la alfalfa. No obstante, Reynolds (94) estableció que las concentraciones otoñales de CHNE observadas en los órganos de reserva no se correlacionaron con la producción de materia seca en la temporada siguiente. Por su parte, Volenec (110) concluyó que la concentración de CHNE no explicaba las diferencias de velocidad de rebrote entre cultivares. Más recientemente, algunos autores consideran que las reservas de ciertos compuestos nitrogenados en la raíz -más específicamente un conjunto particular de proteínas solubles de bajo peso molecular (4)- son importantes en la determinación de la velocidad del rebrote que se produce luego de un corte.

### **Carbohidratos no estructurales (CHNE)**

Si bien las funciones que cumplen en los procesos de mantenimiento y crecimiento de la alfalfa son las mismas, dentro de los CHNE se pueden diferenciar dos orígenes: 1) los compuestos carbonados asimilados a partir de la fotosíntesis actual; y 2) los compuestos carbonados acumulados en la raíz y la corona. La importancia de esta distinción se debe a que, bajo ciertas circunstancias, uno u otro origen pasa a ser la fuente principal de carbohidratos para satisfacer los requerimientos de respiración y crecimiento de las plantas.

### **Partición. Relación fuente-destino**

El concepto de partición hace referencia a la relación existente entre dos sitios de la planta denominados «fuente» y «destino». Se llama *fuentes* a cualquier sitio que exhibe una exportación neta de asimilados, y *destino* a cualquier sitio que muestra una importación neta de asimilados. La partición de asimilados durante el ciclo de crecimiento de la alfalfa ha sido bien estudiada (69), determinándose que la principal fuente de carbono son los fotoasimilados producidos en las hojas a través de la fotosíntesis y los principales destinos son las regiones meristemáticas de los órganos vegetativos en crecimiento, de los nódulos de fijación de nitrógeno y de los tejidos de reserva en raíz y corona. Esta relación fuente-destino puede ser modificada por el efecto de los cortes al cambiarse los requerimientos iniciales de los nuevos brotes y las necesidades de respiración de la planta entera. El proceso de acumulación de reservas consiste en la partición de fotoasimilados hacia los órganos de reserva, entre los cuales la raíz -principalmente en los primeros centímetros- y la corona resultan los más importantes. Todos aquellos factores que afecten la dinámica de esta partición afectarán directamente el nivel de reservas acumulado. Entre los factores más importantes que modifican la partición de los fotoasimilados originados por la fotosíntesis se encuentran la posición de las hojas y el estado de desarrollo y la competencia entre los órganos:

■ *Posición de las hojas. Distancia fuente-destino.* Tanto el tiempo que tardan los fotoasimilados en ser traslocados como las cantidades exportadas varían en relación con la posición de las hojas (41). Las hojas totalmente expandidas, ubicadas en los estratos inferiores del canopeo, exhiben una mayor exportación de asimilados y tardan más tiempo en completarla que las hojas más nuevas y en crecimiento, situadas en la parte superior de la planta. Estas diferencias entre tipo y posición de hojas podrían ser explicadas a partir de la

relación existente entre las tasas de fotosíntesis neta, las cantidades de carbono exportadas y los mayores requerimientos energéticos por parte de las hojas en expansión. A pesar de estas diferencias, las hojas superiores e inferiores contribuyen en forma simultánea al abastecimiento de carbohidratos hacia la raíz y la corona. Esto último es importante porque, al menos en la alfalfa, cuestiona el concepto generalizado de que la proximidad entre fuente y destino favorece la partición. Por el contrario, después de un corte, la proximidad entre fuente y destino parece favorecer la partición. En efecto, bajo esas condiciones, las hojas remanentes -si las hubiera- se constituyen en la principal fuente de asimilados para el desarrollo de los brotes que se producen a partir de las yemas axilares, y la raíz y la corona se transforman en la principal fuente para el desarrollo de brotes a partir de las yemas de la corona.

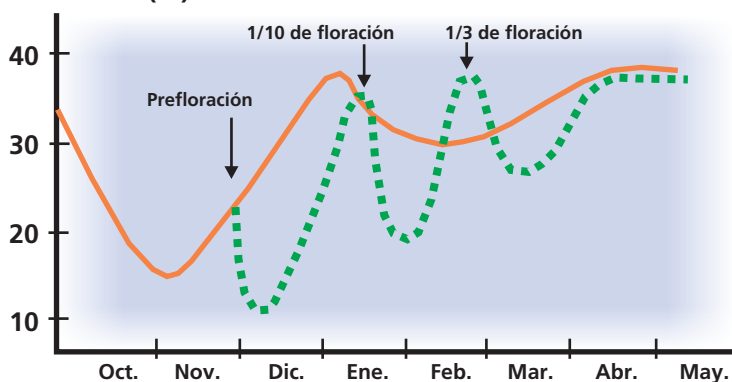
■ *Estado de desarrollo y competencia entre órganos.* El patrón de partición de los fotoasimilados cambia a medida que la planta avanza hacia la madurez (40). Cralle (39) evaluó la cantidad de fotosintatos que fueron traslocados hacia distintos órganos de la planta desde una hoja ubicada en una posición media del tallo principal, y observó que, en cualquier estadio de crecimiento, la partición de los fotosimilados hacia los órganos aéreos fue mayor que hacia los nódulos, la raíz y la corona. En la etapa de crecimiento vegetativo, después de un corte, la cantidad de fotoasimilados traslocados hacia los órganos vegetativos en crecimiento (brotes axilares, hojas en expansión y tallos) fue mayor que los destinados a raíz y corona. Por el contrario, en estadios de desarrollo más avanzados, la cantidad de asimilados traslocados hacia órganos de reserva (raíz y corona) fue mayor. Durante los estadios vegetativos, los brotes a partir de yemas axilares parecen ser el destino principal de la hoja adyacente. La partición de asimilados hacia órganos de la parte aérea no difirió entre los estadios de floración y de fructificación, lo que indica que los frutos en desarrollo son débiles competidores por asimilados originados por la fotosíntesis actual. Por otro lado, disminuciones en los niveles de reservas en la raíz y la corona han sido observadas durante el desarrollo de frutos, lo cual podría indicar que son una fuente importante de asimilados para los mismos (47). La demanda de carbono por los nódulos aumenta con la madurez. Algunos autores han observado que las raíces noduladas importan una mayor cantidad de asimilados comparadas con raíces sin nodular (40).

## Acumulación y movilización

La acumulación de los CHNE se produce en varios tejidos y órganos dentro de la planta, siendo la raíz y la corona los de mayor importancia. Los niveles de CHNE acumulados son mayores en la raíz que en la corona, con valores de 75 y 25%, respectivamente (108). La acumulación de CHNE en la raíz es alta en los primeros centímetros y luego va disminuyendo en profundidad. Escalada y Smith (53), dividiendo a la raíz en segmentos de 5 cm desde el extremo superior, observaron que la concentración de CHNE en cada segmento alcanzó valores promedio de 38%, 23%, 16%, 10%, 6% y 7% del peso seco de la raíz, respectivamente. El almidón es el principal componente de los CHNE (90%) durante la mayor parte del ciclo de crecimiento de la planta. Sin embargo, bajo ciertas condiciones (bajas temperaturas invernales, deficiencia hídrica o iniciación del rebrote primaveral), la sacarosa pasa a ser el principal componente de los CHNE acumulados en la raíz y en la corona (19, 49). Recientemente, Cunningham y col. (43) indicaron que mientras los contenidos de azúcares y proteínas en raíces estuvieron correlacionados con una mayor tolerancia al frío y una más alta supervivencia invernal, las reservas de almidón no. La acumulación de los CHNE está afectada principalmente por las variaciones estacionales (luz y temperatura) y por la defoliación, además de otros factores comparativamente menores como la humedad o el nivel de fertilidad del suelo. Cohen y col. (36) observaron que la acumulación de CHNE fue mayor en plantas sujetas a estrés hídrico que en plantas desarrolladas con condiciones de humedad edáfica cercanas a capacidad de campo. Esta diferencia podría ser explicada por el menor crecimiento que muestran las plantas sujetas a condiciones de estrés. MacLeod (1965) concluyó que

las fertilizaciones y los altos niveles de potasio disponible en el suelo aumentaban las acumulaciones de CHNE; por el contrario, las fertilizaciones con nitrógeno no afectaban los niveles de acumulación. Durante la primavera, las adecuadas condiciones de luz y de temperatura promueven el desarrollo de brotes a partir de las yemas de la corona. En el caso de plantas intactas (sin defoliación), el crecimiento inicial se realiza a expensas de las reservas acumuladas en la raíz y en la corona y, por lo tanto, éstas disminuyen (Figura 7); seguidamente, a medida que se va produciendo la expansión del área foliar y aumenta la intercepción de radiación solar, aumenta la tasa neta de fotosíntesis (63). Por este motivo, la cantidad de carbono asimilado comienza a exceder las cantidades demandadas por los órganos vegetativos en crecimiento y por los requerimientos de respiración de la planta entera. En ese momento finaliza el período de disminución de los niveles de reserva y, en consecuencia, cantidades crecientes de fotoasimilados pueden ser trasladadas hacia la raíz y la corona y acumularse como reservas. La máxima acumulación de carbohidratos se alcanza a un 10

**Total carbohidratos no estructurales (%)**



**FIGURA 7** -Variaciones estacionales de los carbohidratos no estructurales en raíces de alfalfa bajo corte (—) y sin cortar (---). Adaptado de Heichel y col. (69).

% de floración (95). La disminución de los niveles de reservas que se produce luego de haberse alcanzado el valor máximo es atribuida fundamentalmente a la actividad de dos destinos: el desarrollo de nuevos brotes a partir de yemas de corona y el comienzo del desarrollo de frutos (47). En el caso de plantas defoliadas, se observa un patrón cíclico de pérdida-ganancia de las reservas a través del tiempo (Figura 3). 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 corona, siendo las pérdidas por respiración las de mayor magnitud (104). El nivel de reservas continúa descendiendo hasta que el área foliar es lo suficientemente alta como para que la fotosíntesis exceda los requerimientos y a partir de allí comienza nuevamente a aumentar hasta un valor máximo, que es coincidente con la floración o con el inicio del rebrote basal (Figura 3); en ese momento, la planta está en condiciones de ser nuevamente defoliada.

La acumulación de CHNE tiende a aumentar durante el otoño, en respuesta al acortamiento del fotoperíodo y a la disminución de la temperatura. En esas condiciones, las plantas tienen menor crecimiento, bajas tasas de respiración y relativamente altas tasas de fotosíntesis (52). Luego de los cortes otoñales, en el período que va desde mayo-junio hasta setiembre-octubre, las reservas acumuladas permanecen relativamente constantes o tienden a aumentar, lo que indica que las hojas verdes que están presentes en esta época sintetizan carbohidratos y que, por lo tanto, las plantas no dependen de las reservas acumuladas (11). La defoliación también afecta en forma directa el desarrollo de las raíces ya que, como consecuencia de la disminución de las reservas, éstas disminuyen su crecimiento (93). La magnitud con la que disminuyen los niveles de reservas está afectada tanto por el momento de corte como por su frecuencia e intensidad. Wolf y Blaser (114) observaron que las disminuciones en los niveles de CHNE de reserva están afectadas por la intensidad del corte, dado que la remoción parcial del forraje produjo una menor disminución de reservas que la remoción total. Estos autores sugirieron que el remanente foliar luego del corte ejerce cierta función inhibitoria sobre el número de yemas de la corona que se activan, hecho que -al originar un mayor número de ramificaciones a partir de yemas axilares- disminuye el consu-

mo de reservas de la raíz y la corona. Por otro lado, la baja intensidad de defoliación tiene implicancias negativas sobre la producción y la utilización de los rebrotes posteriores. Reynolds (94) concluyó que los cortes excesivamente frecuentes impiden la adecuada recuperación de los niveles de reservas, haciendo peligrar la supervivencia y la producción de forraje de las plantas. Berger y León (11) observaron que la recuperación de los niveles de reservas fue disminuyendo con los cortes sucesivos, mostrando los CHNE de reserva una tendencia declinante en el tiempo, similar a lo señalado por Frame y col. (59) para el rendimiento de forraje e independientemente de la frecuencia de defoliación utilizada.

### Sustancias nitrogenadas

Junto con los CHNE, las sustancias nitrogenadas son los principales componentes de las reservas que se acumulan en la raíz y en la corona. Las reservas nitrogenadas tienen importancia en algunos procesos relacionados con el rebrote y la tolerancia a las bajas temperaturas. La alfalfa depende en gran parte del nitrógeno proveniente de la fijación simbiótica para satisfacer sus requerimientos totales (ver Capítulo 4). A continuación se desarrollarán brevemente los principales procesos vinculados con la acumulación del N y los factores que afectan su nivel de reserva.

### Acumulación y movilización

La acumulación de N de reserva se produce mayormente en la raíz y en menor medida en

la corona. Barber y col. (4), mediante el empleo de  $N^{15}$ , encontraron que el 71 % de las reservas nitrogenadas se hallaba en la raíz y que el 29 % restante estaba en la corona. Las variaciones estacionales de los niveles de reserva de estos compuestos en la raíz, tanto del nitrógeno total (N) y como de las proteínas solubles (PS), sigue una tendencia similar a la de los carbohidratos (82). Estos autores concluyeron que el patrón de variación para N (Figura 8a) es similar al de PS (Figura 8b), con valores relativamente altos en otoño e invierno y menores en primavera y verano.

Las variaciones señaladas están afectadas por los factores ambientales que, como la temperatura y el fotoperíodo, regulan el crecimiento de las plantas. La disminución en los niveles de reservas nitrogenadas se produce como consecuencia de la alta tasa de crecimiento que muestran las alfalfas durante la primavera y el verano. También otros factores, como la fertilización nitrogenada, pueden modificar la concentración de N en los tejidos de reserva (4). Mientras que luego de un corte el nivel de N acumulado en la raíz disminuye al ser

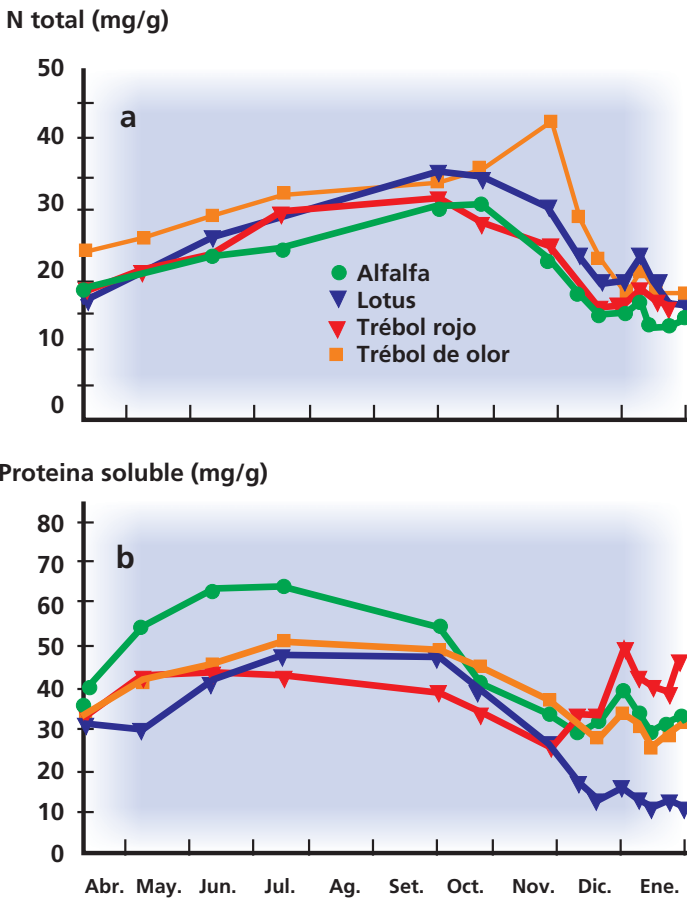


FIGURA 8 - Cambios estacionales en la concentración de a: nitrógeno (N) y b: proteína soluble (PS) en raíces de alfalfa y otras especies leguminosas. Adaptado de Li y col. (82)



movilizado hacia los nuevos brotes que se producen a partir de las yemas de corona, en las plantas sin cortar permanece sin cambios (Figura 9). Los mayores niveles de movilización, tanto en plantas noduladas como sin nodular, se producen dentro de los primeros días subsiguientes al corte. Luego, la cantidad de N movilizado disminuye -aunque más gradualmente- en las plantas noduladas. En general, luego del corte, el crecimiento inicial de los brotes depende fuertemente del nitrógeno acumulado como reserva en la raíz, tanto en las plantas noduladas como sin nodular. Los niveles de N de reserva tienden a recuperarse en la medida en que los nuevos vástagos avanzan en su desarrollo. La mayor movilización de N en cultivares de menor reposo invernal, particularmente de ciertas fracciones específicas, podría explicar las diferencias entre cultivares respecto de la velocidad de recuperación después de un corte.

La composición de las reservas nitrogenadas varía entre las estaciones del año, habiéndose informado durante el otoño incrementos de concentración de aminoácidos libres, principalmente prolina (113), de proteína soluble y de ciertas enzimas (49). La fuente del nitrógeno traslocado hacia los nuevos brotes varía con el tiempo transcurrido luego del corte. La principal fuente inicial de nitrógeno es la acumulada como reserva en la raíz y en la corona, que se moviliza hacia los nuevos brotes (Figura 10). Luego, a medida que transcurren los días después del corte, el nitrógeno originado por la fijación biológica pasa a ser la principal fuente.

Resumiendo todo lo anterior puede concluirse en que el metabolismo de las reservas está muy relacionado con la tolerancia al estrés y con el rebrote de las plantas, y que su magnitud variará de acuerdo con el manejo que se haga de la defoliación.

## Relación entre morfología, desarrollo y rebrote

La dinámica de generación y expansión de las estructuras de la planta se conoce como *morfogénesis* (34). En las especies forrajeras, esas estructuras determinan el porte o el hábito de crecimiento de la planta y afectan la disponibilidad del forraje para ser cosechado por el animal en pastoreo. A su vez, la morfología de las plantas individuales afecta la estructura y el funcionamiento de las comunidades y las poblaciones, determinando las interacciones competitivas entre especies e individuos. El pastoreo altera esa relación competitiva al defoliar a las especies de

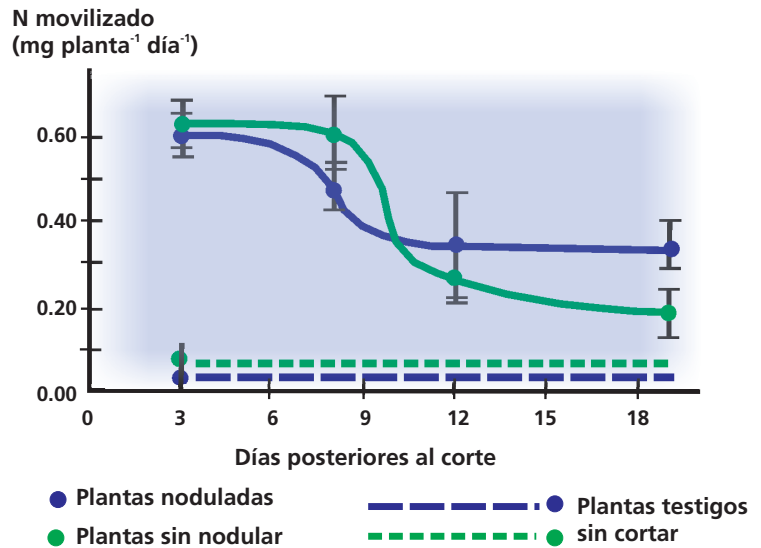


FIGURA 9 - Movilización del N de reserva en plantas de alfalfa noduladas y sin nodular. Adaptado de Kim y col. (76).

N total en los brotes a partir de la removilización o fijación (%)

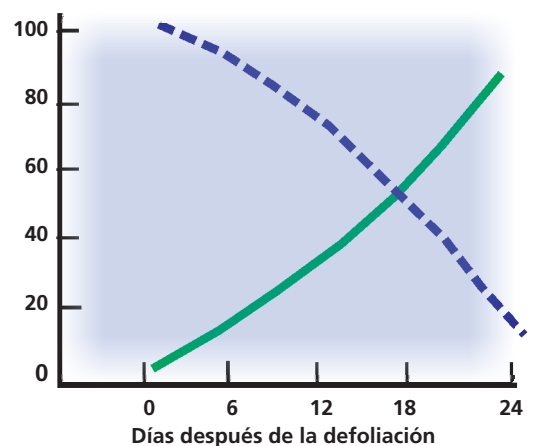


FIGURA 10 - Porcentaje de N en los nuevos brotes a partir del nitrógeno fijado(- - -) y removilizado (—). Adaptado de Frame y col. (59).

manera diferente y afectar su posterior rebrote. Esto acarrea cambios en la composición botánica, lo que puede afectar la cantidad, la calidad y la estacionalidad de la producción de la pastura y, consiguientemente, la producción animal (15). Por lo tanto, en la implementación de los diferentes sistemas de manejo de una pastura deben contemplarse, al menos en parte, las características morfo genéticas de las plantas dominantes en ella.

Las estrategias de las plantas para preservarse del efecto de la defoliación son de dos tipos: 1) mecanismos para evitar el pastoreo; y 2) mecanismos para tolerar sus consecuencias (15). Mientras que los primeros reducen la probabilidad de que la planta sea defoliada y por lo general se basan en una disminución de la accesibilidad y de la palatabilidad, los segundos facilitan el rebrote luego de la defoliación a través de, por ejemplo, una rápida reposición de hojas. Por lo común, la capacidad de sobrevivencia de las especies luego del pastoreo resulta de una combinación de esas dos estrategias, aunque en algunas especies y bajo determinadas condiciones una puede ser más importante que la otra. 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; en consecuencia, el rebrote después del corte o pastoreo se origina en las yemas de la corona o de la parte basal de los tallos remanentes. Estas características morfofisiológicas determinan que la defoliación tenga marcados efectos en el crecimiento, la producción y la persistencia de las plantas.

### Acumulación de forraje

La alfalfa, 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 (Figura 11).

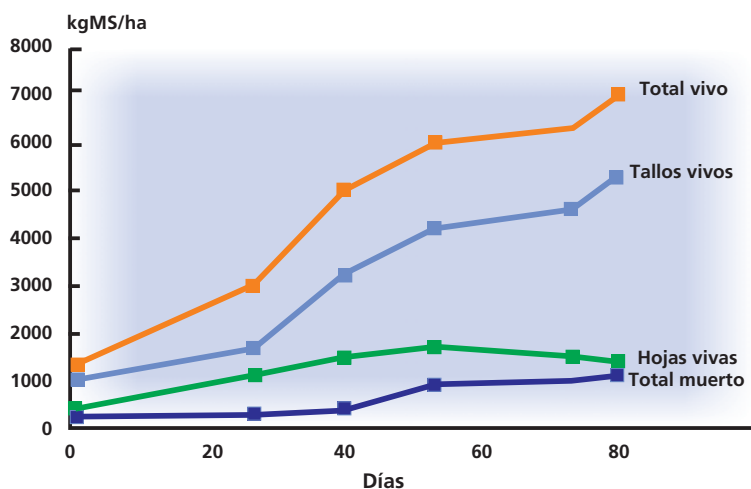


FIGURA 11 – Patrón de acumulación de la materia seca en alfalfa durante un rebrote primaveral. Tomado de Woodward y Sheehy (116).

El mayor contribuyente de material muerto es la hoja, indicando que en un determinado momento (día 42 en el ejemplo de la Figura 11) se producen tantas hojas como las que mueren. En Balcarce (Bs. As.), durante un rebrote de inicio de primavera en condiciones no limitantes de agua y fertilidad, Baccaro (3) obtuvo un patrón de acumulación de hojas y tallos similar al presentado en la Figura 11. No obstante, bajo las cambiantes condiciones climáticas que se producen durante todo el ciclo de crecimiento, la acumulación de materia seca que se observa en los subsiguientes

rebrotos luego de las defoliaciones es muy variable (Figura 12). Si bien en las especies de crecimiento indeterminado -como la alfalfa- la iniciación de las hojas desde el meristema terminal continúa a medida que las flores desarrollan desde las yemas axilares, la tasa de producción de área foliar es lenta (16).

En las especies de crecimiento indeterminado, junto con el inicio de la floración se produce una reducción gradual de la relación hoja:tallo, lo que se debe a una menor producción de hojas, a un incremento de la senescencia foliar en la parte inferior del canopeo, y producción de tallos de mayor peso (88). Mientras que Albrecht y col. (1) señalaron que en

alfalfa la relación hoja:tallo decrece desde 1,5 en el estado vegetativo a 0,5 cuando las plantas alcanzan la madurez, Nordkvist y Åman (89) registraron valores de 3,9 a 0,5, respectivamente. Obviamente, a medida que disminuye la relación hoja:tallo decrece la calidad del forraje.

### Manejo de la defoliación

Según Harris (68), la caracterización de defoliación involucra tres parámetros: 1) **frecuencia**, que es el tiempo transcurrido entre defoliaciones sucesivas; 2) **intensidad**, que mide la biomasa removida o porcentaje de utilización y que es un término amplio que incluye la severidad, la duración, la altura, el área foliar residual, las reservas, el estado fisiológico y la uniformidad (remoción diferencial de plantas o partes específicas de las plantas en pastoreo), y 3) **momento**, que se relaciona con el estado fenológico de las plantas y época del año. En alfalfa, la combinación óptima de todos estos parámetros a fin de lograr el adecuado balance entre producción, calidad y persistencia, ha sido motivo de numerosos trabajos tanto en el extranjero como en el país (97).

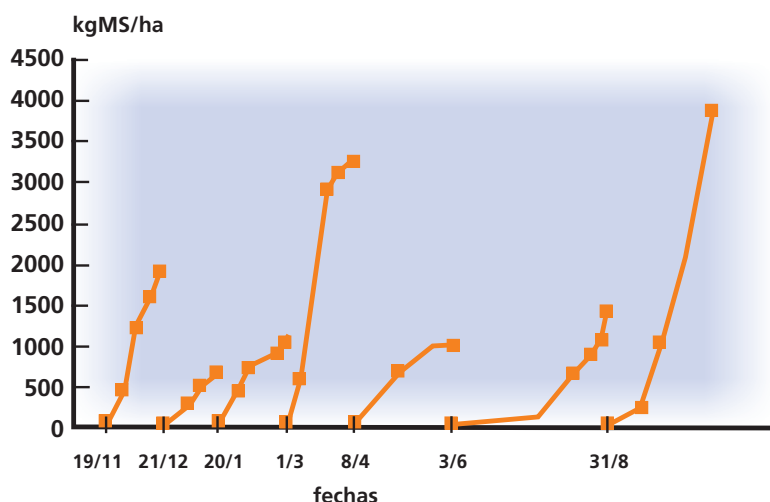


FIGURA 12- Acumulación de materia seca en un cultivar de alfalfa sin reposo invernal (GRI 8) durante distintos rebrotes a lo largo del año. Tomado de Cangiano y Pece (28).

A efectos de preservar en el tiempo el rendimiento y la persistencia de la alfalfa, la conclusión general de las referencias bibliográficas es que los cortes o pastoreos deben hacerse cuando las plantas llegan a cierto grado de madurez. En este sentido, se aconseja la utilización de la pastura al inicio de la floración o a la aparición de nuevos tallos desde la corona (cuando por razones climáticas no hay inducción de floración). Sin embargo, buscando simplificar el manejo, se ha promovido con frecuencia el corte o pastoreo a intervalos fijos. Ambos criterios de defoliación (floración o intervalos fijos) permitirían que la planta, después de cada aprovechamiento, acumule la suficiente cantidad de sustancias de reserva (Figura 7) para combinar altas producciones de materia seca y persistencia a través del tiempo.

En el manejo de la alfalfa, la intensidad del corte o pastoreo reviste menos importancia que la frecuencia de utilización. Esto posiblemente se deba a que, como fuera mencionado anteriormente, los tallos remanentes tienen relativamente poca importancia como sitios de crecimiento para promover el próximo rebrote. Luego de una defoliación, la corona es la principal fuente de nuevos tallos; los tallos provenientes de las yemas axilares de las hojas remanentes adquieren mucha menos relevancia (77). No obstante, la preponderancia de una u otra fuente puede variar según el cultivar, el estado de madurez al momento de cosecha, la cantidad de forraje remanente y/o la frecuencia de utilización (100). A fines de los '60, Leach (81) sugirió que dejar un rastrojo de 5 cm (con y sin hojas) tenía ventajas sobre no dejar rastrojo porque así habría más sitios disponibles para el rebrote, sosteniendo que esto era más importante que el nivel de carbohidratos no estructurales o que el área foliar residual. Por el contrario, Langer y Keoghan (78) observaron que dejar un remanente mayor (10 cm), con hojas residuales de baja eficiencia fotosintética, no brindaba ninguna ventaja dado que la mayoría del rebrote provenía de las yemas ubicadas en la corona. En pastoreo, el impacto de la defoliación es complejo. En esas condiciones, la uniformidad de la defoliación afecta notablemente la productividad y la competencia por recursos. La capacidad de las plantas para compensar la defoliación que hace el animal disminuye cuando aumenta la competencia con otras plantas, sea ésta intra o interespecífica. El crecimiento de las plantas

no defoliadas, cuando se hallan ubicadas cerca de otras plantas que han sido defoliadas, puede ser promovido por la mayor disponibilidad de recursos. Por el contrario, si la planta es defoliada parcialmente, los nutrientes pueden ser redistribuidos dentro de la planta entre los diferentes macollos y/o tallos (65), modificando la capacidad de recuperación de la planta y amortiguando el impacto de la defoliación.

Cuando, además de la producción de materia seca y de la longevidad de las plantas, se tiene en cuenta el valor nutritivo del forraje, se aconseja que el corte o pastoreo se realice en un estado próximo al 10 % de floración. Esto se basa en que la alfalfa, con el avance de la madurez, disminuye su calidad porque decrecen la digestibilidad y el contenido proteico y aumentan los contenidos de pared celular y de lignina. A medida que se avanza en los estados fenológicos, se acrecienta la proporción relativa de los tallos, de menor digestibilidad, por sobre la de hojas, que aunque de alta calidad se mantiene casi constante a través del tiempo (Figura 13). A su vez, el contenido de fósforo disminuye y el de calcio se mantiene alto (6, 10 y 9).

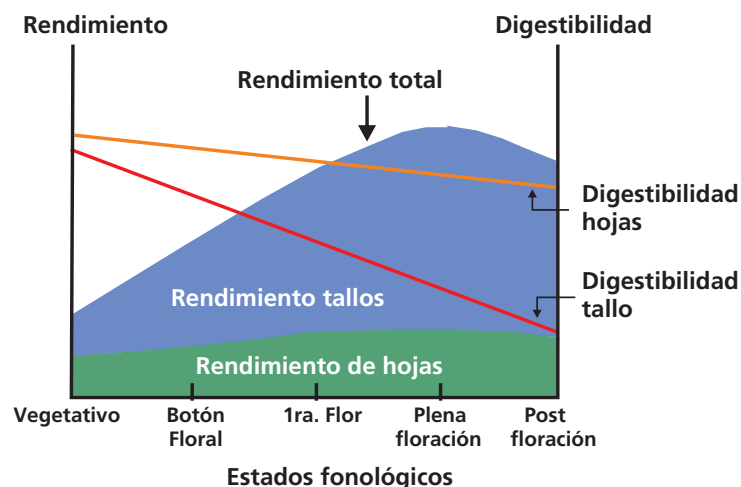


FIGURA 13 – Evolución del rendimiento y la calidad de tallos y hojas de alfalfa a medida que avanzan los estados de madurez

basados en la combinación del número de entrenudos y floración (89) y otros en la complementación de altura de planta y floración (85). Es muy común que se mencionen uno o varios estados fenológicos, pero que no se indique cómo fueron determinados (55). Kalu y Fick (74) propusieron un método para estimar el estado de madurez de la alfalfa en un momento dado, que se conoce como «estado medio por peso» (EMP) y que integra el estado fenológico de cada tallo individual de una muestra, categorizados según una escala definida previamente (ver Capítulo 2). Este método, que tiene en cuenta las fracciones vegetativas y reproductivas, es un mejor indicador de la calidad del forraje que la basada exclusivamente en la estimación del porcentaje de floración.

## Interacción cultivares y defoliación

Si bien la frecuencia de corte de la alfalfa es un factor primordial para lograr altos rendimientos de materia seca y buenos niveles de persistencia, hasta hace relativamente poco tiempo se desconocía la reacción de los cultivares con distinto reposo invernal a diferentes frecuencias de defoliación (6). En Manfredi (Córdoba), durante el período 1974-77, Cangiano (26) observó que si bien los mayores rendimientos de alfalfa ( $MS\ ha^{-1}$ ) se lograron con cortes al 50% de floración y los menores con cortes a prebotón, la frecuencia de corte no afectó por igual a todos los cultivares. Respecto de las frecuencias de corte utilizadas (prebotón, 10 y 50% de floración), Kanza (reposo largo) no manifestó diferencias significativas en producción, en tanto que Team (reposo intermedio-largo) produjo igual al 10% y al 50% de floración pero menos en prebotón, y WL 508 (reposo corto) y Polihíbrido Manfredi (reposo intermedio-corto) tuvieron mayores rendimientos al 50% que al 10% de floración o en prebotón. En un estudio similar realizado en General Villegas (Bs. As.) durante el período 1984-89,

Zaniboni (117) determinó que en los dos primeros ciclos de producción los cultivares WL 514 y CUF 101 (sin reposo) y WL 313 (reposo intermedio) produjeron más forraje que Painé INTA (reposo largo); sin embargo, en las dos últimas temporadas y como resultado de su menor persistencia, el rendimiento de los cultivares sin reposo disminuyó marcadamente. En tal sentido, la mayor persistencia de los cultivares con reposo se asoció con su mayor producción a las más altas frecuencias de defoliación. No obstante, en otros ensayos realizados en años más recientes, se observó que la diferencia de rendimiento entre cultivares de distinto grado de reposo no fue tan marcada (119).

Durante gran parte del año, el uso de la alfalfa en el país complementa el pastoreo con cortes para heno. En ese contexto, es común plantear el interrogante sobre el daño que puede causar a la longevidad de las plantas el animal en pastoreo. Delgado Enguita (45) concluyó que con un manejo adecuado no hubo diferencias de producción de materia seca y persistencia entre pastoreo y corte mecánico. En sentido similar, numerosos trabajos han demostrado que la alfalfa utilizada bajo pastoreo debe ser manejada con esquemas similares a los recomendados para corte. Pastoreos muy frecuentes o de rotación corta, cuyo caso extremo sería la combinación del pastoreo continuo con alta carga animal, producen un marcado deterioro de la producción y la persistencia de las plantas (Figura 14). En contraposición, el uso del pastoreo rotativo con adecuada frecuencia de defoliación aparece como el sistema de manejo más adecuado para la alfalfa.

La extensión del período de descanso a 35-42 días está avalada por numerosos trabajos nacionales (6, 97) y extranjeros (48, 66). Sin embargo, esos valores deberían modificarse durante períodos de sequía o de muy activo crecimiento con pérdida de valor nutritivo del forraje, aunque teniendo siempre especial cuidado de no pastorear los nuevos rebrotes desde corona.

La duración del período de pastoreo es un aspecto algo más controvertido que la del período de descanso, ya que existe un desfase entre el pastoreo del canopeo y el crecimiento de los nuevos rebrotes basales. Un período prolongado de pastoreo, de acuerdo al grado de madurez y a la velocidad de crecimiento de los rebrotes basales de un cultivar, puede disminuir la supervivencia de las plantas por el consumo de estos rebrotes. En consecuencia, el largo de ese período está influenciado por las condiciones ambientales, el estado fisiológico de las plantas y el tipo de cultivar. En el país se han realizado algunos trabajos para evaluar el efecto de la duración del pastoreo sobre la persistencia de distintos cultivares. En Marcos Juárez (Córdoba), Cragnaz (38) comparó el efecto de períodos de pastoreo de 2, 6, 12 y 18 días, con un período de descanso de 36 días, sobre la persistencia de los cultivares CUF 101, WL 318, Kanza y Painé INTA. En General Villegas (Bs. As.), Zaniboni (118) midió la persistencia de los cultivares CUF 101, WL 514, WL 313 y Painé INTA frente a períodos de pastoreo de 3, 6, 12 y 18 días, con un descanso de 36 días. Ambos trabajos concluyeron que un pastoreo de 6 días resultó ser el más apropiado para todos los cultivares. Dentro de estos últimos, los de menor reposo invernal (CUF 101 y WL 514) presentaron menor persistencia que los de mayor reposo (Painé INTA) bajo cualquier duración del pastoreo; por su parte, los de mayor reposo fueron prácticamente insensibles a duraciones de pastoreo de 6 a 18 días. En ambos trabajos, la menor persistencia que se observó en todos los cultivares con el uso de

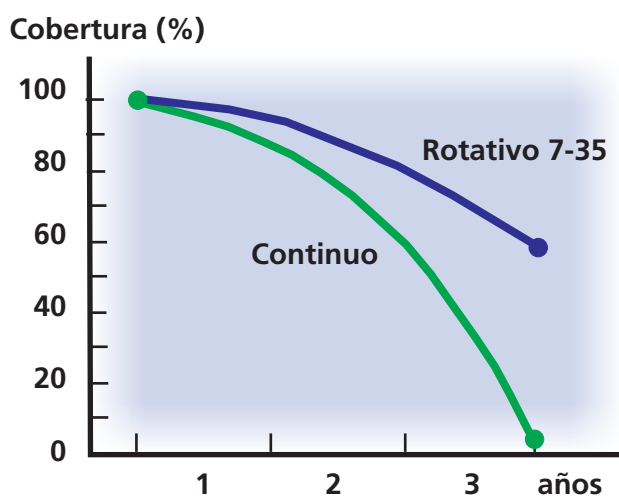


FIGURA 14 - Evolución de la cobertura de suelo en una pastura de alfalfa manejada bajo pastoreo rotativo (7 días pastoreo x 35 días de descanso) y bajo pastoreo continuo. Tomado de Bariggi y Romero (6).



períodos muy cortos de pastoreo (2-3 días) es de difícil explicación. No obstante, Douglas (48) cita trabajos de Nueva Zelanda y Australia en los que se señala que el efecto negativo de malezas o de especies menos palatables sobre pasturas de alfalfa fue mayor en períodos de pastoreo cortos (3-4 días). Por otro lado, Lodge (83) indica que, mientras los períodos de descanso sean de al menos 35 días, una duración del pastoreo relativamente prolongada (10 días) no afectaría la productividad y la persistencia de la alfalfa ni la producción animal.

De todo lo anterior se infiere que la respuesta de los cultivares a los períodos de descanso y de pastoreo puede ser diferente, y que hay algunos cultivares de mayor reposo invernal que se adaptan mejor a manejos deficientes o menos intensivos. No obstante, para la mayoría de las situaciones, es razonable asumir que el período de descanso debe ser lo suficientemente largo como para que se recupere el nivel de reservas y se acumule una alta producción de forraje, aunque sin que se alcance un estado muy avanzado de madurez que sacrifique excesivamente la calidad forrajera. Obviamente, la longitud del período de descanso estará determinada principalmente por la tasa de acumulación de materia seca que tenga la pastura. Si ésta última es rápida, como sucede en primavera-verano bajo condiciones de buena humedad edáfica, el período de descanso será relativamente corto (30 días); por el contrario, si las condiciones ambientales determinan que la tasa de acumulación sea baja o variable, el período de recuperación será más largo.

Por lo expuesto, en el manejo de un pastoreo rotativo se deben tener en cuenta, además de la carga animal, el número de subdivisiones y la duración de los períodos de pastoreo y de descanso. La combinación de distintos valores de estos parámetros (Cuadro 1), que definen

**CUADRO 1** – Relación entre número de subdivisiones y longitudes de períodos de pastoreo y de descanso para un ciclo de pastoreo rotativo de 40 días. Adaptado de Bransby y MacLaurin (14).

Nº de subdivisiones	2	4	6	8	10	12	14	16
Longitud del período de pastoreo (días)	20	10	6.7	5	4	3.3	2.9	2.5
Longitud del período de descanso	20	30	33.3	35	36	36.7	37.1	37.5

la longitud del ciclo de pastoreo, genera diferentes alternativas de manejo del pastoreo rotativo para cada región, estación de crecimiento y cultivar. Del análisis del Cuadro 1 se aprecia la inconveniencia de usar más de 6-8 subdivisiones, dado el escaso efecto en los períodos de pastoreo y de descanso -con su consiguiente impacto sobre la produc-

ción animal- y el creciente grado de complejidad en infraestructura que implica un mayor número de subdivisiones.

En relación con el desarrollo de variedades con mayor adaptación al pastoreo, Smith y col. (103) propusieron la selección de genotipos persistentes bajo condiciones de pastoreo continuo. Luego de dos ciclos de selección bajo estas condiciones obtuvieron el cv Alfragaze, que en un ensayo de evaluación en pastoreo continuo conducido por tres temporadas se comportó significativamente mejor que los cultivares Spreador y Travois (tipo pastoreo) y Florida 77 y Apollo (tipo corte). Esta línea de trabajo no sólo abre un campo promisorio para la evaluación de germoplasma de alfalfa, sino que también demuestra que se pueden lograr cultivares adaptados a pastoreos más frecuentes que ofrezcan altos niveles de productividad de forraje y persistencia.

## Descanso otoñal

Durante el otoño se inician en la planta dos procesos de importancia: el comienzo del reposo y la aclimatación al período invernal. La relación directa entre estos dos procesos y la acumulación de reservas, tanto en cantidad como en composición, llevó a considerar al otoño como un período crítico, donde cualquier práctica de defoliación -a fin de disminuir los

riesgos de supervivencia y productividad futura de forraje- debe tener en cuenta la fisiología de la planta (102). Como ya se ha mencionado, la luz y la temperatura son los principales factores ambientales que regulan el crecimiento de las plantas y la aclimatación al frío. Para una determinada latitud, la respuesta de las plantas a dichos factores -traducida en crecimiento otoñal- difiere entre cultivares, lo que ha permitido clasificarlos en distintos grupos dormancia o grados de reposo (56). Este concepto implica la existencia de una importante interacción genotipo\*ambiente, cuyo resultado final es la adaptación de los cultivares a determinadas localidades o regiones.

Debido a la importancia de la alfalfa en los sistemas ganaderos, se han realizado numerosos estudios con el fin de establecer esquemas de manejo de la defoliación que compatibilicen una elevada producción de materia seca con una alta persistencia y una buena calidad. Dentro de estos esquemas, el manejo otoñal ha recibido especial importancia. En ese sentido, muchas investigaciones realizadas en otras latitudes, con climas muy fríos, han sugerido un «período crítico de descanso otoñal» de 4-6 semanas antes de la fecha probable (promedio histórico) de la primera «helada fuerte» (*killing frost*). Varios autores han señalado que la productividad de la alfalfa puede afectarse seriamente por prácticas de manejo deficientes, como inadecuados momentos de corte o insuficientes intervalos entre cortes. Lloveras y col. (84), que evaluaron durante tres años el efecto de los cortes otoñales sobre el comportamiento de distintos cultivares de alfalfa, concluyeron en que tanto la fecha de corte como el estadio fenológico en el momento de corte afectaron significativamente los rendimientos de materia seca del primer corte en la primavera siguiente. No obstante, otros autores sostienen que esas diferencias desaparecen cuando se analiza la producción anual de forraje (70, 87).

Respecto de la supervivencia de las plantas, Mays y Evans (87) indicaron que cortes durante el otoño pueden perjudicar la persistencia del alfalfar si no se contemplan adecuados períodos de recuperación previos al corte y/o se utilizan cultivares susceptibles al ataque de plagas y enfermedades. Belanger y col. (8) establecieron que para las condiciones de Canadá la realización de un corte tardío, al final de la estación de crecimiento, aumenta el riesgo de muerte de plantas por el frío invernal. También encontraron una interacción manejo\*cultivar, dado que los cultivares más tolerantes a las bajas temperaturas fueron menos afectados que los más susceptibles. Bariggi y col., (5), para las áreas de influencia de Anguil (La Pampa) y General Villegas (Bs. As.), establecieron el 15/04 como la fecha adecuada para el último corte de otoño, resultando perjudiciales para los cultivares de reposo intermedio los cortes de fines de marzo o principios de abril. En Anguil, los cortes efectuados el 13/04, con un crecimiento previo de 5-6 semanas, permitieron que los cultivares de reposo largo y sin reposo acumularan un adecuado nivel de reservas (20 % CHNE); los cortes realizados el 23/03 en las variedades sin reposo redujeron sensiblemente las reservas. A una conclusión similar llegó Cagnaz (38) en Marcos Juárez (Córdoba), donde observó que mientras los cortes en primavera-verano al 10% de floración favorecieron a los cultivares de menor reposo con mayores descansos otoñales (cortes cada 42 días), los cultivares de mayor reposo se mostraron como poco sensibles a los cortes en esa época. Según Romero (96), si se implementa un pastoreo rotativo de por lo menos 6 potreros (7 días de pastoreo y 35 días de descanso) entre octubre y abril, variando de un año a otro las fechas del pastoreo de otoño en cada potrero, no es necesario el descanso otoñal en cultivares del tipo pampeano con reposo largo (Painé INTA). Rossi y col. (98) observaron que el descanso otoñal tuvo un efecto positivo sobre las plantas de CUF 101 cuando se realizaron defoliaciones frecuentes (25-30 cm de altura), pudiendo mantener una densidad de plantas similar a los tratamientos defoliados al 10 % de floración o según la altura de los rebrotes basales. Otros trabajos concluyeron en que los cortes durante el otoño no resultaron perjudiciales para la persistencia y/o la producción de forraje cuando se utilizaron cultivares adaptados y se implementaron prácticas de manejo adecuadas (105, 86, 51 y 37). En Balcarce, Cangiano (20) evaluó el efecto de diferentes fechas del corte de otoño (marzo, abril y mayo) sobre el rendimiento y la persistencia de los cultivares

de alfalfa CUF 101 (sin reposo), Sutter (reposo intermedio) y P205 (reposo largo), detectando interacción cultivar\*descanso otoñal. El ensayo indicó que mientras los rendimientos de forraje de CUF 101 y P205 fueron más altos cuanto más prolongados fueron los descansos otoñales, las producciones de Sutter se mostraron insensibles a ellos. Este último cultivar fue el de mayor rendimiento, aun cuando no manifestó diferencias respecto de CUF 101 manejado con el mayor descanso. En relación a la persistencia, el efecto del cultivar fue más importante que el del manejo otoñal y la mejor evolución de Sutter se asoció no sólo al mayor número de plantas sino también al mayor número de yemas planta<sup>-1</sup> al final del ensayo, lo que le otorgó una ventaja respecto de la cantidad de puntos potenciales de crecimiento para el siguiente rebrote. De acuerdo con White y Lucas (112), las frecuentes defoliaciones otoñales impuestas en el ensayo -con su consiguiente disminución en el nivel de reservas- deberían haber ocasionando una marcada merma en la producción y la persistencia de las plantas; no obstante, es probable que la relativamente corta duración de la experiencia (4 años) no haya permitido la expresión de esos potenciales efectos negativos sobre el cultivo.

Las diferentes respuestas a los manejos otoñales que se observan entre cultivares y localidades, hacen que los resultados no puedan ser generalizados o extrapolados en forma simple a distintas situaciones. Si en los cultivares sin reposo se utiliza el crecimiento de otoño-invierno, no debería esperarse que sus ventajas productivas se mantuvieran a principios de primavera, ya que la disminución de reservas debería llevar en esta época a menores producciones respecto de los cultivares con reposo (112). Sin embargo, cuando la utilización durante la primavera no es crítica, el efecto depresivo del manejo otoño-invernal puede ser compensado por una demora en la defoliación (72). En este caso particular, como en otros períodos de crecimiento, puede aplicarse el concepto de Keoghan (75) referente a que un período breve de mal manejo tiene poco efecto en los rendimientos subsiguientes si luego se otorga a las plantas un período adecuado de descanso.

## Alfalfa asociada con gramíneas templadas

La inclusión de las leguminosas en las asociaciones forrajeras tiene dos ventajas principales: 1) mayor valor nutritivo y ganancias de peso y producción de leche que las gramíneas y 2) su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico. Relacionado con esto último, también puede decirse que una asociación de gramíneas y leguminosas de 3 a 4 años mejorará la estructura del suelo e incrementará el nivel de fertilidad. Si bien una gran proporción de los nutrientes será liberada durante el primer año después de arada la alfalfa, su efecto puede extenderse por varios años más.

La alfalfa es posiblemente la única leguminosa que en regiones templadas se usa tanto pura como en mezcla con gramíneas mesotérmicas. Las ventajas que por lo general se esgrimen para justificar el empleo de este tipo de mezcla se resumen en mayor producción total y mejor distribución del forraje a lo largo del año, menor variación entre años, forraje más balanceado desde el punto de vista nutricional, menor invasión de malezas y menor riesgo de empaste. Por el contrario, entre las desventajas que poseen las mezclas forrajeras suelen mencionarse a la creciente complejidad en el manejo de la defoliación y en el mantenimiento del balance entre sus componentes; a los cambios de la calidad originados por la interacción entre el valor nutritivo, la fenología y la contribución relativa de las distintas especies que la integran, y a la mayor dificultad para la obtención de reservas forrajeras de alta calidad y su consiguiente pérdida de valor para su venta o conversión en producto animal.

En la Argentina, una alta proporción de la superficie con alfalfa se siembra en mezcla con gramíneas perennes tales como festuca (*Festuca arundinacea* Schreber), cebadilla criolla (*Bromus catharticus* Vahl.), pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.), falaris (*Phalaris aquatica* L.), agropyro alargado [*Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv.] y pasto llorón [*Eragrostis curvula*

(Schrader) Nees.]. Estas combinaciones, que pueden ser de una complejidad variable, por lo general incluyen 2 o más gramíneas. A pesar de su difusión, la experimentación con mezclas en el ámbito nacional ha sido relativamente escasa (97). Santini y col. (99), conduciendo un ensayo de siembra otoñal durante un año, observaron que la mezcla alfalfa + festuca presentó la menor acumulación de MS a lo largo del ciclo de producción, mientras que las mezclas más complejas (festuca + otras gramíneas sin especificar + trébol blanco + alfalfa), si bien exhibieron un bache estival, produjeron mayor acumulación de forraje en el otoño-invierno que la alfalfa pura. En ese sentido, está muy difundido el concepto de que una mezcla compleja ofrecería una situación ideal porque, al incluir especies que se adaptarían a una amplia gama de condiciones ambientales (clima, suelo, plagas, enfermedades, etc.), daría el máximo rendimiento posible durante toda la estación de crecimiento. Sin embargo, la realidad muestra que esto no suele suceder, ya que muchas especies pueden ser eliminadas durante las primeras etapas del establecimiento de la pastura, lográndose finalmente una población de plantas adaptadas pero menos densa y no necesariamente de mayor rendimiento y/o calidad. Escuder y Cangiano (54) encontraron que las mezclas complejas no superaron en rendimiento a las mezclas más simples. En comparación con la alfalfa pura, Chamblee y Collins (33) midieron 10-15% de incremento en el rendimiento de las mezclas con gramíneas. Bruno y col. (17), comparando la producción de forraje de alfalfa pura y de mezclas bifíticas (alfalfa con festuca, pasto ovido o cebadilla criolla), concluyeron que si bien no hubo diferencias en el rendimiento total de materia seca  $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ , las mezclas aportaron en promedio más forraje que la alfalfa pura en el período otoño-invierno (33 vs. 19 %, respectivamente). En otros casos, las gramíneas no se adaptan a la competencia de la alfalfa y/o al manejo de la defoliación sobre la base de ésta y, por ende, su contribución al rendimiento de la pastura es bajo (79). En Balcarce (Bs. As.), Cangiano (21) no obtuvo diferencias en la producción total de forraje entre alfalfa pura y su mezcla con festuca o con raigrás perenne (*Lolium perenne* L.). En las mezclas, la producción promedio del raigrás y la festuca fue del 35% y del 40% del total, respectivamente, y fue obtenida en su mayoría en los primeros cortes de primavera; desde enero en adelante, la contribución de las gramíneas fue prácticamente nula (Figura 15). La mayor contribución al rendimiento por parte de la alfalfa también se observó en la distribución estacional de forraje en la mezcla con pasto ovido (Figura 16).

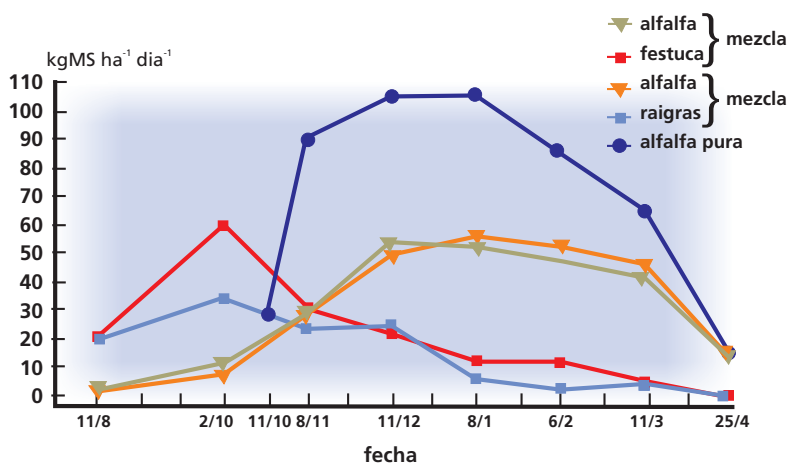
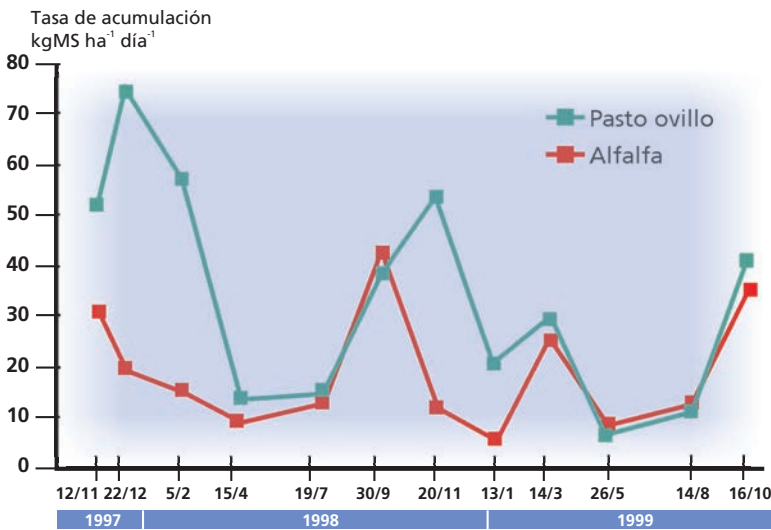


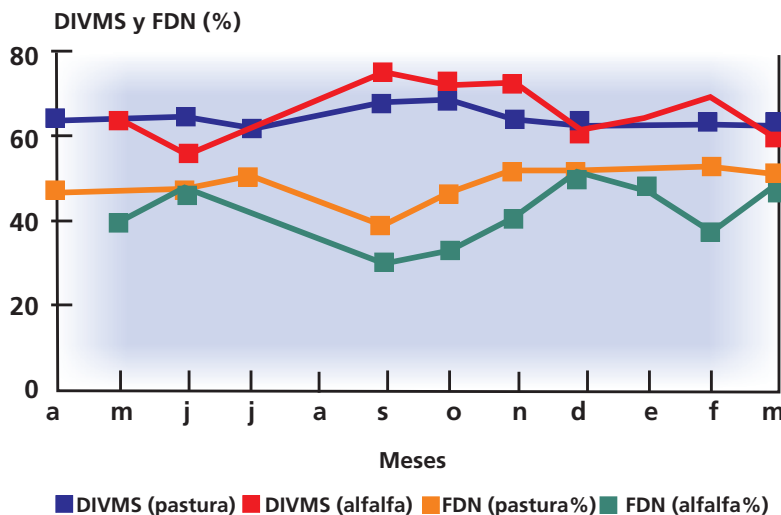
FIGURA 15 -Tasa de acumulación de forraje ( $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) en alfalfa pura y en mezclas de alfalfa con festuca o raigrás perenne a lo largo del año en Balcarce (Bs. As.). Tomado de Cangiano (21).

A pesar de la relativamente baja importancia que las gramíneas puedan ofrecer en los primeros años de vida de una pastura, su contribución aumenta generalmente a través del tiempo, a medida que se acentúa la pérdida de plantas de alfalfa. La composición botánica de las mezclas también depende del manejo de la defoliación y puede variar tanto dentro como entre años. En general, las mezclas de alfalfa son inestables en su composición botánica, convirtiéndose con el tiempo en poblaciones gramínea-dominante o alfalfa-dominante (48). La bibliografía también es contradictoria en cuanto a los rendimientos de forraje de las asociaciones, lo que posiblemente se relacione con la inestabilidad botánica antes mencionada. En estos casos, el manejo puede jugar un papel muy importante en el mantenimiento de un adecuado balance gramíneas-alfalfa, dado que una frecuencia de defoliación que se adecue a la alfalfa probablemente tenga efectos perjudiciales para las gramíneas y vicever-



**FIGURA 16** - Distribución estacional de la producción forraje de alfalfa y de pasto ovillo en una mezcla a lo largo de tres temporadas. Tomado de Cangiano (21)

Otro aspecto que se debe considerar cuando se siembra una pastura de gramíneas y leguminosas es la calidad forrajera. En general, como consecuencia de los cambios fenológicos que las distintas especies experimentan a través del tiempo, la calidad de las mezclas suele ser inferior a la del cultivo de alfalfa puro. En la Figura 17 se representa la evolución a lo largo del año de la digestibilidad y del contenido de fibra de una alfalfa pura y de una pastura polifítica que incluye raigrás perenne, pasto ovillo, cebadilla y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.). Se aprecia que la calidad de la alfalfa pura supera prácticamente en todo momento a la de la pastura mezcla, con promedios anuales de digestibilidad de 67 y 65% y de contenido de fibra de 40 y 48%, respectivamente. Algo similar sucedió con el contenido de proteína bruta, cuyos promedios anuales para la alfalfa y la pastura mezcla fueron de 21 y 17%, respectivamente.



**FIGURA 17** - Evolución de la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) y del contenido de fibra detergente neutro (FDN) en pasturas de alfalfa pura y de una mezcla polifítica durante 1997/98 en un ensayo conducido en INTA Balcarce.

La estructura del canopeo se puede describir a través de la cantidad de forraje ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), del grado de cobertura (%), de la altura (cm) y de la densidad de forraje contenida en esa altura ( $\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ ). Un cambio en alguna de estas variables, aun cuando las otras queden constantes, puede producir modificaciones en la profundidad y el área de bocado y, en consecuencia, afectar el peso de bocado y el consumo del animal. Otra complejidad adicional es la variación de calidad que las pasturas tienen tanto en sentido horizontal como vertical, lo que hace que el animal vaya generando distintas situaciones en función de lo que consume

sa (73). Un factor asociado a la competencia entre la alfalfa y la gramínea es el efecto que puede tener la calidad de la luz que llega a la base de la pastura. Cuando el canopeo es muy denso, el desarrollo de las yemas basales de la alfalfa puede ser inhibido por una baja relación de la radiación rojo:rojo lejano en la base de la pastura. Por lo tanto, la gramínea debería ser adecuadamente defoliada durante la primavera -época en la que probablemente ocupe mayor espacio en el canopeo- a fin de favorecer un mejor crecimiento de las yemas de la corona de la alfalfa.

## Estructura de la pastura y comportamiento ingestivo

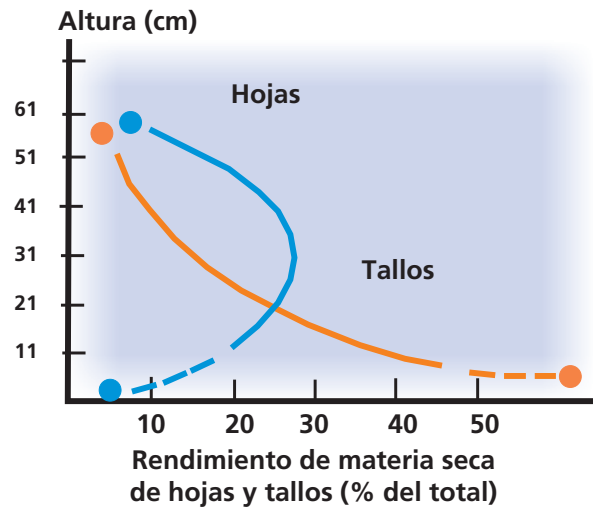
La estructura del canopeo se puede describir a través de la cantidad de forraje ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), del



a lo largo del pastoreo. Quizá sea por ello que, a pesar de haberse encontrado en muchos trabajos una sólida relación entre características de la pastura (por ej.: cantidad y/o altura) y consumo animal, la información generada resulte insuficiente y/o contradictoria como para establecer una predicción general del consumo en condiciones de pastoreo. Si bien el consumo está afectado por muchos factores de la planta, del animal y del ambiente, se tratarán a continuación en forma muy somera algunas características de la cosecha del forraje por parte de bovinos en pastoreo, enfatizando ciertas particularidades de la alfalfa.

### La planta

Como ya fuera mencionado, a medida que la planta de alfalfa avanza en sus estados de madurez, desde rebrote a floración, va modificando no sólo su forma de acumular forraje sino también su digestibilidad y su composición química. Entre otros parámetros, la digestibilidad (DIVMS) y el contenido de proteína bruta (PB) varían en función de la distribución vertical de la materia seca presente en las hojas (h) y los tallos (t).



**FIGURA 18** - Distribución vertical del peso de hojas y tallos en una planta de alfalfa próxima a floración. Adaptado de Cangiano (27).

En una planta de alfalfa próxima a floración, el peso de sus hojas está concentrado en la parte media y disminuye hacia los extremos superior e inferior (de manera similar a lo señalado en la Figura 2 para el IAF), mientras que el peso de tallos aumenta gradualmente hacia la parte inferior (Figura 18).

Hacia la parte inferior de la planta no sólo disminuyen la DIVMS y el contenido de PB de los tallos sino también la relación hoja/tallo (h/t). No obstante, el valor nutritivo de las hojas se mantiene relativamente alto y constante a través de todo el perfil de la planta (Cuadro 2 y Figura 19). En consecuencia, y de acuerdo con Fletcher (58), la digestibilidad de la planta entera es influenciada directamente por la digesti-

bilidad de los tallos y su variación a través del tiempo. Esto último, en consonancia con los cambios de morfología y calidad en los distintos estratos, adquiere una gran importancia en la utilización del forraje bajo pastoreo.

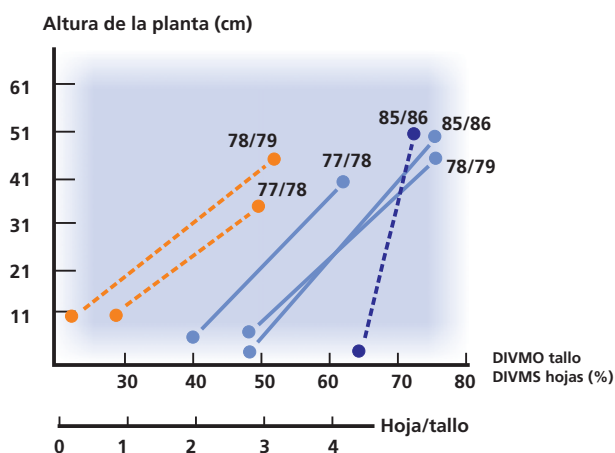
La digestibilidad de los tallos es muy variable tanto dentro como entre años, pudiendo llegar en verano a valores inferiores al 40% (26). Según Vough y Marten (111), esto último se relaciona directamente con las altas temperaturas y el aceleramiento de la madurez que se producen en esa estación.

**CUADRO 2** – Digestibilidad in vitro de materia seca (DIVMS) y contenido de proteína bruta (PB) en hojas y tallos de alfalfa separados por estratos de 10 cm de altura. Adaptado de Frasinelli (60).

Estratos (cm)	Hoja verde DIVMS (%)	Hoja verde PB (%)	Tallo verde DIVMS (%)	Tallo verde PB (%)
Más de 30	73	28,5	70	16
20 a 30	70,7	28,5	62,5	13
10 a 20	67	30	55,5	11
0 a 10	67	31	48	10

### El bocado animal

El bocado representa la unidad a partir de la cual el animal integra su consumo y produce el impacto de la defoliación a la planta. El bovino cosecha el forraje ofrecido en función de la profundidad y del área de bocado, definiendo el peso de éste según la densidad del forra-

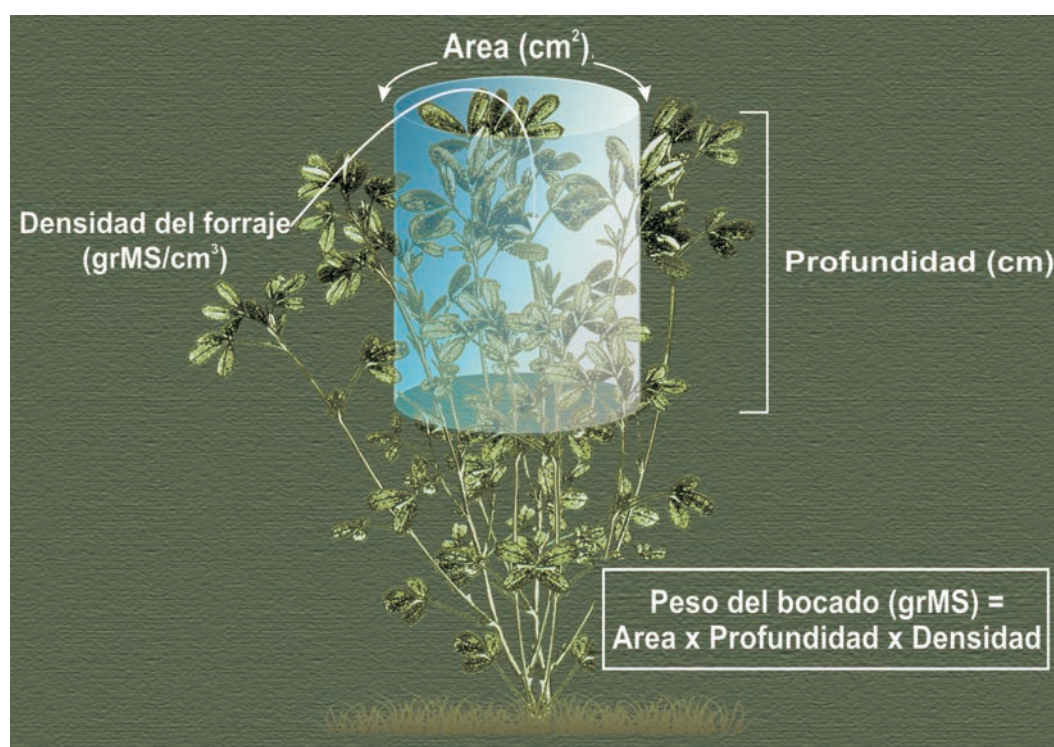


**FIGURA 19** - Evolución de la digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO) de tallos (celeste), de la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) de hojas (azul) y de la relación hoja/tallo (naranja) en diferentes estratos de la planta de alfalfa. Tomado de Cangiano (26).

je contenida en ese volumen (Figura 20). Aunque lo expresado en esta sección se refiere a los bovinos en pastoreo, los conceptos generales que se abordan son también de aplicación a otros rumiantes domésticos.

### El pastoreo

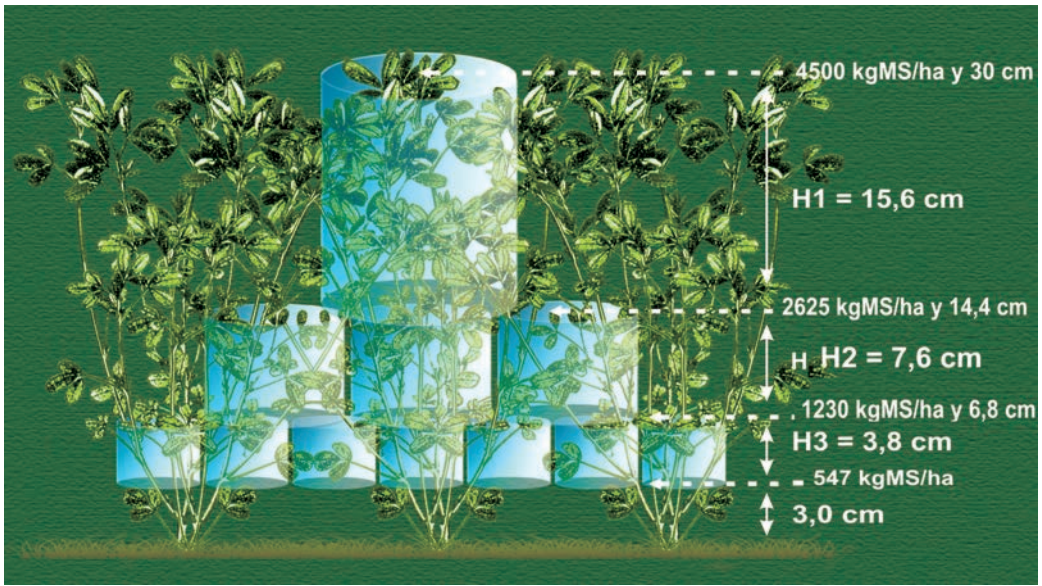
En los sistemas intensivos de producción y asumiendo condiciones de pasturas relativamente homogéneas, se puede considerar que el animal pastorea por horizontes, definidos a su vez por la profundidad de bocado. Dicha profundidad no adquiere una altura fija - como la que normalmente se define para los muestreos de las plantas (ver Cuadro 2)- sino que varía de acuerdo con la altura de la pastura, alcanzando, por lo general, una propor-



**FIGURA 20** - Dimensiones y peso del bocado de un bovino en pastoreo. Tomado de Cangiano (21).

ción más o menos constante y cercana al 50% de la altura del forraje al momento de aprehender el bocado e independientemente del peso del animal (29). A modo de ejemplo, en la Figura 21 se observa que para una pastura de 4.500 kg MS ha<sup>-1</sup> y 30 cm de altura, el bovino define un primer horizonte (H1) de 15,6 cm; al comerlo, deja 2.625 kg MS ha<sup>-1</sup> y una altura de 14,4 cm, y a partir de esto define un segundo horizonte (H2) en el cual dará un bocado de solo 7,6 cm; y así sucesivamente.

Obviamente, cada vez que cambian los horizontes también varían el área de bocado y las otras variables de la pastura, como la fitomasa y la densidad. En consecuencia, dentro de un

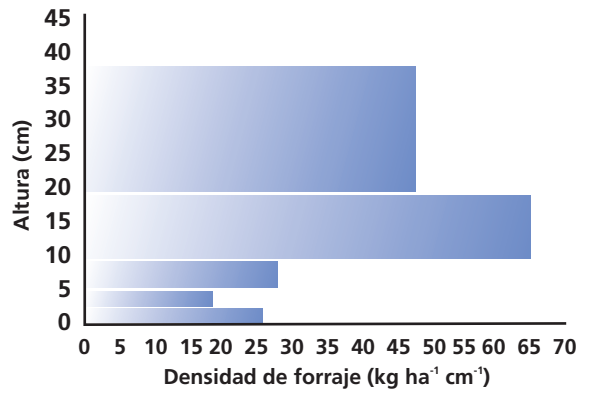


**FIGURA 21-** Variación del volumen de bocado en cada horizonte de pastoreo (H) durante una defoliación de una pastura de alfalfa. Tomado de Cangiano (23).

sistema de pastoreo rotativo, a medida que el animal pastorea los horizontes más cercanos al suelo disminuye el peso del bocado, dadas la menor profundidad y la más reducida área de bocado. En alfalfa, esta disminución se ve acentuada porque en los horizontes basales también se reducen la densidad (Figura 22) y la calidad del forraje (Figura 23).

### Pastoreo, consumo y producción animal

A igualdad de digestibilidad del forraje, el consumo de materia seca es mayor en las leguminosas que en las gramíneas (62), lo que desde el punto de vista de la producción animal se refleja en mayores ganancias de peso y más altas producciones de leche (107 y 106). Según Beaver y Thorp (7), ese comportamiento diferencial estaría explicado por la mayor tasa de rotura de las partículas y la mayor tasa de digestión ruminal de las leguminosas. Además, aun con el avance de la madurez, las leguminosas son capaces de mantener un alto valor nutritivo, especialmente en las hojas, que es el material seleccionado por los animales en pastoreo (109, 61).



Intervalos de altura	Altura (cm)	Fitomasa (kg/ha)	Fitomasa acumulada (kg/ha)	% del total	% del remanente	Densidad (kg ha <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> )
19 a 38	19,00	921	1784	51,63	51,63	48,47
9,5 a 19	9,50	624	863	34,98	72,31	65,68
4,75 a 9,5	4,75	135	239	7,57	56,49	28,42
2 a 4,75	2,75	52	104	2,91	50,00	18,91
0 a 2	2,00	52	52	2,91	100,00	26,00

**FIGURA 22** -Variación vertical de la densidad de forraje por horizontes de pastoreo en alfalfa. Tomado de Cangiano (24).

La comprensión del equilibrio existente entre los principales procesos que intervienen en el crecimiento y la utilización de las pasturas es básica para optimizar el manejo del pastoreo. Uno de los aspectos centrales es lograr un alto porcentaje de utilización del forraje presente a través del manejo de la presión de pastoreo. Si el forraje presente está compuesto por hojas de relativamente alta calidad y por tallos de menor valor nutritivo, el



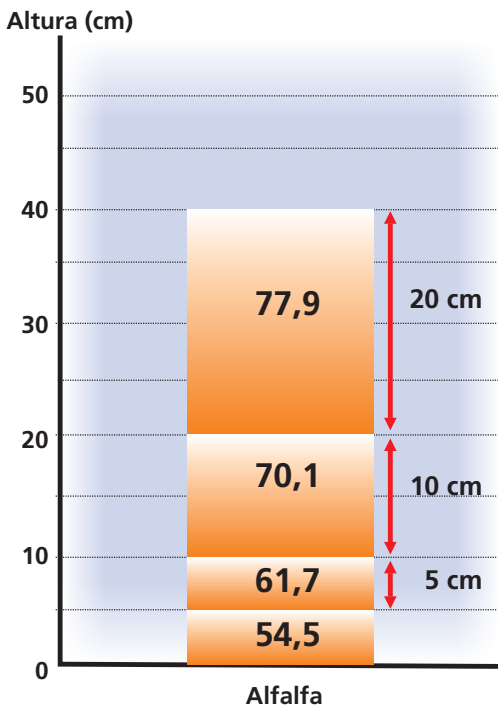
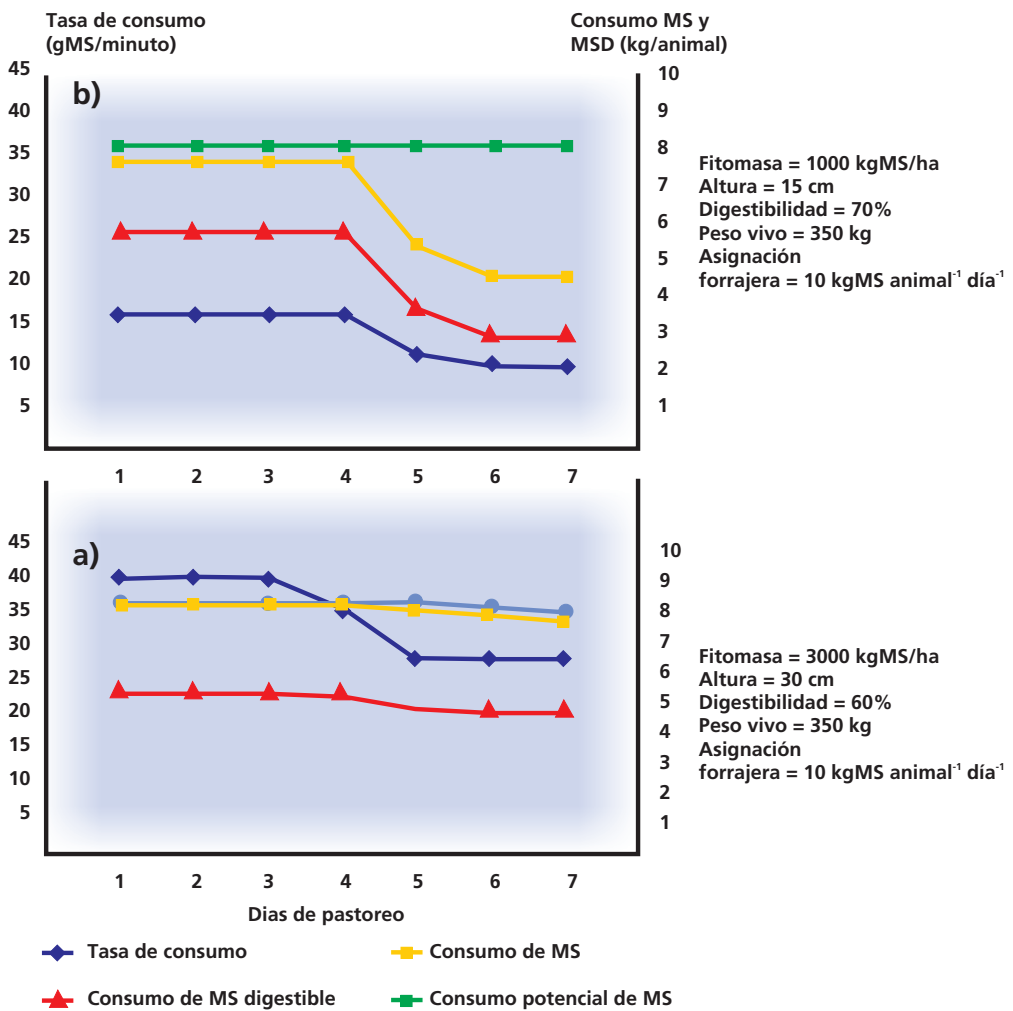


FIGURA 23 - Variación vertical de la digestibilidad de alfalfa por horizontes de pastoreo. Tomado de Cangiano y Galli (30).

aumento de la presión de pastoreo provocará mayor eficiencia de cosecha, pero al precio de obligar a los animales a consumir una dieta con mayor porcentaje de tallos y, por ende, de menor calidad (26); en ese contexto, el consumo de forraje por parte de los animales se verá resentido (60). A su vez, la respuesta de los animales frente a una menor oferta de forraje, que además tiene menor proporción de hojas, será la de aumentar el tiempo de pastoreo y la tasa de bocado a lo largo del día pero disminuyendo el peso del bocado y, en consecuencia, el consumo diario. El resultado final de esta concatenación de hechos será la disminución de la ganancia diaria de peso o de la producción de leche diaria. Esta situación no es sólo privativa de la alfalfa sino que también fue señalada por Chacon y Stobbs (32) y por Hodgson (71) para otras especies forrajeras. Cangiano y col. (29) generaron diferentes situaciones en pasturas de alfalfa y de trigo a través de la combinación de igualdad de fitomasa y de altura con distinta distribución de materia seca de hojas y de tallos por horizontes, obteniendo diferentes pesos de bocado y tasas de consumo. En este estudio, cuando a comienzos de la defoliación se pastorearon los horizontes superficiales, la alfalfa produjo los mejores resultados de producción animal; no obstante, cuando se pastorearon los horizontes más cercanos al suelo, se registró la situación inversa, con los mejores valores para el trigo. Todo ello demuestra el dinamismo con que se rigen las relaciones entre la planta y el animal, tanto durante las primeras horas de un pastoreo en franjas diarias como en los primeros días de un pastoreo de más duración (26, 97).

A medida que se profundiza el pastoreo de la alfalfa, el animal debe enfrentar condiciones más dificultosas para cosechar una dieta que presenta menor proporción de hojas y más bajo contenido de energía, lo que afecta negativamente el consumo y la producción animal. En un pastoreo rotativo, la asignación de forraje (AF) por animal y por día es, quizá, la variable de manejo de mayor importancia; sin embargo, no se puede definir un único valor de AF que se aplique a todas las condiciones de pastura y de requerimientos de los animales. A continuación, y a modo de ejemplo, se presentan en la Figura 24 dos casos de simulación generados con el programa *ConPast 3.0* (64), donde en un pastoreo rotativo de 7 días de duración se aprecia cómo varía el consumo a través de distintas condiciones de la pastura pero dejando constante la AF animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Si bien se observa la disminución de la tasa de consumo y del consumo diario de materia seca digestible a medida que transcurren los días de pastoreo y que se van agotando los horizontes superiores, en uno de los casos los novillos prácticamente cubren su consumo potencial hasta el último día (Figura 24a), mientras que en el otro sólo pueden hacerlo durante los primeros días, aún cuando la digestibilidad de la pastura fuese mayor (Figura 24b).

De lo anterior se infiere que, cuando se utiliza el pastoreo rotativo para la producción de carne o leche, los animales deberían pasar más rápidamente a otros potreros o franjas a fin de no afectar el nivel de ganancia individual o productividad vaca<sup>-1</sup>. Esto implica dejar un remanente de forraje relativamente alto, lo que dificulta la utilización posterior de la pastura por la presencia de un cultivo heterogéneo, con mezcla de material viejo (principalmente tallos) y nuevos rebrotes, que, por lo general, obligue a un emparejamiento a través de un corte u otras medidas similares. En ese contexto, un sistema de manejo más controlado,



**FIGURA 24** - Simulación de la tasa de consumo y consumo diario de forraje de novillos en pastoreo rotativo con dos condiciones de alfalfa: a) alta productividad pero baja digestibilidad, y b) baja productividad pero alta digestibilidad. En ambos casos, el peso vivo de los animales y la asignación de forraje se asumieron constantes. Tomado de Cangiano (23).

como el pastoreo con líderes y seguidores, que considere los requerimientos de los animales, aparece como de mayor flexibilidad. De ese modo, se conseguiría mantener o ligeramente incrementar la producción ha<sup>-1</sup> (13 y 42).

## Consideraciones finales

En ganadería es muy conocido el conflicto existente entre el mantenimiento de altos niveles de producción individual y de altos niveles de producción por superficie. Esta incompatibilidad debe ser manejada por el productor a través de la carga animal, la calidad y la asignación de forraje, y la estructura del canopeo ofrecido. Todos estos factores interactúan en forma dinámica, de modo tal que es muy difícil aceptar una única variable o relación que explique por sí sola el consumo y/o la producción animal en condiciones de pastoreo.

A lo largo de este capítulo se han desarrollado conceptos que explican la influencia de los factores ambientales en la tasa de acumulación de forraje de alfalfa. También se trató la dinámica con la que la especie acumula y utiliza sus sustancias de reserva, las implicancias del manejo otoñal, el mantenimiento del equilibrio en mezclas con gramíneas y algunos



aspectos relacionados a la morfología y la aparición de nuevos rebrotes. El objetivo final es proponer pautas de manejo que, integrando todo lo anterior, lleven a una defoliación racional de la pastura, armonizando producción, calidad y persistencia. Uniendo a toda esa información las propias experiencias y el uso de programas de computación ad hoc que estuvieren disponibles, se espera propiciar la toma de decisiones de manejo sobre bases sólidas, realizando así una utilización eficiente de la alfalfa en pastoreo.

## Bibliografía

1. ALBRECHT, K. A., W. F. WEDIN and D. R. BUXTON. 1987. Cell-wall composition and digestibility of alfalfa stems and leaves. *Crop Science* 27: 735-741.
2. AL-HAMDANI, S. and G. W. TODD. 1990. Effect of temperature regimes on photosynthesis, respiration and growth in alfalfa. *Proc. Oklahoma Academy Science* 70: 1-4.
3. BACCARO, K. 2000 Crecimiento comparativo de cultivares de alfalfa con diferente grado de latencia invernal durante un rebrote invierno-primaveral. Tesis Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Mar del Plata. Balcarce, Argentina, 22 pp.
4. BARBER, L. D., B. C. JOERN, J. J. VOLENEC and S. M. CUNNINGHAM. 1996. Supplemental nitrogen effects on alfalfa regrowth and nitrogen mobilization from roots. *Crop Sci.* 36: 1217-1223.
5. BARIGGI C., R. HERNÁNDEZ, N. ROMERO, M. ZANELLI, A. CRAGNAZ y R. ROSSANIGO. 1979. Efecto de la frecuencia de corte en primavera y otoño en la longevidad y productividad de la alfalfa en la Región Pampeana argentina. Buenos Aires, INTA. Proyecto PNUD-FAO-INTA Arg. 75/006. Documento de Trabajo N° 5, 83 p.
6. BARIGGI, C. y N. ROMERO. 1986. Crecimiento de la alfalfa y utilización en la Región Pampeana. *In:* C. Bariggi, C. D. Itria, V. L. Marble y J. M. Brun (ed) Investigación, Tecnología y Producción de Alfalfa. INTA, Buenos Aires, Colección Científica, Tomo XXII, Cap. V., p. 119-159.
7. BEEVER, D. E. and C. THORP. 1996. Advances in the understanding of factors influencing the nutritive value of legumes. Occasional Symposium N° 30, British Grassland Society, CAB International, 194-207.
8. BELANGER, G., T. KUNELIUS, D. MCKENZIE, B. PAPAPOPOULOS, B. THOMAS, K. McRAE, S. FILLMORE and B. CHRISTIE. 1999. Fall cutting management affects yield and persistence of alfalfa in Atlantic Canada. *Can. J. Plant Sci.* 79: 57-63.
9. BERGER, M. E., R. S. LEÓN y H. F. FENOGLIO. 1986. Cambios en la digestibilidad *in vitro*, proteína bruta y materia seca de dos cultivares de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con el avance a madurez. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol. 6 (7-8): 423.
10. BERGER, M. E., R. S. LEÓN y H. F. FENOGLIO. 1985. Cambios en la concentración de elementos minerales en alfalfa (*Medicago sativa* L.) con el avance a madurez. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol. 5 (3-4):149.
11. BERGER, M. E. y R. S. LEÓN. 1984. Tendencia de los carbohidratos no estructurales en las raíces de dos cultivares de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol. 4 (5): 547-554.
12. BERTIN, O. D. 1997. La producción de forraje de alfalfa bajo riego en el norte de la provincia de Buenos Aires. *In:* Seminario de riego. INTA-EEA Balcarce. Mar del Plata, Bs. As., Septiembre 25-26, pp. 79-85.
13. BLASER, R. E. 1982. Integrated Pasture and Animal Management. *Trop. Grassl.* 16 (1): 9.
14. BRANSBY, D. I. and A. R. MACLAURIN. 2000. Designing animal production studies. *In:* L. t Mannelje and R. M. Jones (ed) Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research. CAB International, pp. 327-352.
15. BRISKE D. D. 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. *In:* R. K. Heitschmidt and J. W. Stuth (ed) Grazing Management. An Ecological Perspective. Timber Press, Portland, Oregon, USA. Cap. 4, pp. 85-108.
16. BROWN, P. W. and C. B. TANNER. 1983. Alfalfa stem and leaf growth during water stress. *Agronomy J.* 75: 799-805.
17. BRUNO, O. A., L. A. ROMERO, J. L. FOSSATI y O. R. QUAINO. 1988. Evaluación de mezclas simples de alfalfa (*Medicago sativa*) y gramíneas bajo pastoreo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol. 8 (Sup. 1): 92.
18. BULA, R. J. 1972. Morphological characteristics of alfalfa plants grown at several temperatures. *Crop Science* 12: 683-686.
19. BULA, R. J. and D. SMITH. 1954. Cold resistance and chemical composition in overwintering alfalfa, red clover and sweetclover. *Agronomy J.* 46: 397-401.

20. CANGIANO, C. A. 2002a. Manejo de la defoliación. *In*: C. A. Cangiano (ed) Manual de Alfalfa. CD-ROM INTA EEA Balcarce, Cap. 5, pp. 81-108.
21. CANGIANO, C. A. 2002b. Rendimiento de forraje de mezclas. *In*: C. A. Cangiano (ed) Manual de Alfalfa. CD-ROM INTA EEA Balcarce, Cap. 7, pp. 160-174.
22. CANGIANO, C. A. 2002c. Planificación y evaluación forrajera. *In*: C. A. Cangiano (ed) Manual de Alfalfa. CD-ROM INTA EEA Balcarce, Cap. 8, pp. 175-200.
23. CANGIANO, C. A. 2002d. Utilización bajo pastoreo. *In*: C. A. Cangiano (ed) Manual de Alfalfa. CD-ROM INTA EEA Balcarce, Cap. 10, pp. 216-229.
24. CANGIANO, C. A. 1999. Evaluación de la pastura. *In*: C. A. Cangiano (ed) ConPast 3.0 - Programa de computación para la estimación del consumo de bovinos en pastoreo. INTA EEA Balcarce, I- 137-165.
25. CANGIANO, C. A. 1997 Métodos de medición de la fitomasa aérea. *In*: C. A. Cangiano (ed) Producción Animal en Pastoreo. INTA EEA Balcarce, Capítulo 8, pp. 117-128.
26. CANGIANO, C. A. 1992. Alfalfa - Factores que afectan su producción y utilización. Boletín Técnico N° 107, INTA EEA Balcarce, 55 p.
27. CANGIANO, C.A. 1988. Estructura y calidad del canopeo de alfalfa bajo dos frecuencias de corte. *Rev. Arg. Prod. Anim. Vol. 8 (Sup 1): 86.*
28. CANGIANO, C. A. y M. A. PECE. 2005. Análisis de la acumulación de materia seca en rebrotes de alfalfa. *Rev. Arg. Prod. Anim. Vol 25 (1-2): 39-52.*
29. CANGIANO, C. A., J. R. GALLI, M. A. PECE, L. DICHIO and S. H. ROZSYPALEK. 2002. Effect of live weight and pasture height on cattle bite dimensions during progressive defoliation. *Aust. J. Agric. Res. 53: 541-549.*
30. CANGIANO, C. A. y J. R. GALLI. 1999. Consumo y comportamiento ingestivo de bovinos en pastoreo. *In*: C. A. Cangiano (ed) ConPast 3.0 - Programa de computación para la estimación del consumo de bovinos en pastoreo. INTA EEA Balcarce, I-21-66.
31. CARTER, P. R. and C. C. SHEAFFER. 1983. Alfalfa response to soil water deficits. I. Growth, forage quality, yield, water use and water-use efficiency. *Crop Science 23: 669-675.*
32. CHACON, E. and T. H. STOBBS. 1976. Influence of progressive defoliation of a grass sward on the eating behaviour of cattle. *Aust. J. Agric. Res. 27: 709-727.*
33. CHAMBLEE, D. S. and M. COLLINS. 1988. Relationships with other species. *In*: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill, Jr. (ed) Alfalfa and Alfalfa Improvement. Agronomy Monograph N° 29, CSSA-ASSA-SSSA, Madison, WI, Ch. 13, pp. 439-461.
34. CHAPMAN, D. F. and G. LEMAIRE. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *Proc. of the 17<sup>th</sup> International Grassland Congress, pp. 95-104. New Zealand - Australia, 8-21 February 1993.*
35. CHRISTIAN, K. R. 1977. Effects of the environment on the growth of alfalfa. *Adv. Agron. 29: 183-227.*
36. COHEN, Y., H. BIELORAI and A. DOVRAT. 1972. Effect of timing of irrigation on total nonstructural carbohydrates levels in roots and on seed yield of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Crop Sci. 10: 61-63.*
37. COLLINS, M. and T. H. TAYLOR. 1980. Yield and quality of alfalfa harvested during autumn and winter and harvest effects on the spring crop. *Agron. J. 72: 839-844.*
38. CRAGNAZ, A. 1988. Investigaciones y progresos en el manejo de la alfalfa. 1. Efecto del periodo de pastoreo y descanso sobre la productividad. *Rev. Arg. Prod. Anim. Vol. 8 (6): 501.*
39. CRALLE, H. T. 1983. Photosynthate partitioning in alfalfa populations selected for high nitrogen fixation capability. Ph.D. thesis. Univ. of Minnesota, St. Paul. Diss. Abstr. DA 8329508.
40. CRALLE, H. T. and G. H. HEICHEL. 1986. Photosynthate and dry matter partitioning in effectively and ineffectively nodulated alfalfa. *Crop Sci. 26: 117-121.*
41. CRALLE, H. T. and G. H. HEICHEL. 1985. Interorgan photosynthate partitioning in alfalfa. *Plant Physiol. 79: 381-385.*
42. CROSSE, S. and S. FITZGERALD. 1988. The effect of a leader/follower system of grazing management on the performance of spring calving dairy cows. *Proc. 12<sup>th</sup> General Meeting of the European Grassland Federation. Dublin, Ireland, p. 435.*
43. CUNNINGHAM, S. M., J. A. GANA, J. J. VOLENEC and L. R. TEUBER. 2001. Winter hardiness, root physiology, and gene expression in successive fall dormancy selections from Mesilla and CUF 101 alfalfa. *Crop. Sci. 41: 1091-1098.*
44. DELANEY, R. H., A. K. DOBRENZ and H. T. POOLE. 1974. Seasonal variation in photosynthesis, respiration, and growth components of nondormant alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Crop Sci. 14: 58-61.*
45. DELGADO ENGUITA, I. 1989. Effects of sheep grazing on dry matter production and persistence of a lucerne crop. *Proc. 16<sup>th</sup> International Grassland Congress. Nice, France, p. 1033.*

46. DELLA MAGGIORA, A., L. ECHARTE, A. IRIGOYEN, N. MARTÍN y V. SADRAS. 1998. Radiación. *In*: V. Sadras (ed). Agrometeorología - Parte 1. Fac. Cs. Agrarias, Univ. Nac. de Mar del Plata, Cap. 1, pp. 1-10.
47. DOBRENZ, A. K. and M. A. MASSENGALE. 1966. Change in carbohydrates in alfalfa (*Medicago sativa* L.) roots during the period of floral initiation and seed development. *Crop Sci.* 6: 604-607.
48. DOUGLAS, J. A. 1986. The production and utilization of lucerne in New Zealand. *Grass and Forage Sci.* 41: 81-128.
49. DUKE, S. H. and D. C. DOEHLERT. 1981. Root respiration, nodulation and enzyme activities in alfalfa during cold acclimation. *Crop Sci.* 21: 489-495.
50. DURAND, J. L., G. LEMAIRE, G. GOSSE et M. CHARTIER. 1989. Analyse de la conversion de l'énergie solaire en matière sèche par un peuplement de luzerne (*Medicago sativa* L.) soumis à un déficit hydrique. *Agronomie* 9: 599-607.
51. EDMISTEN K. L., D. D. WOLF and M. LENTER. 1988. Fall harvest management of alfalfa. I- Date of fall harvest and length of growth period prior to fall harvest. *Agron. J.* 80: 688-693.
52. EDMISTEN, K. L. and D. D. WOLF. 1988. Fall harvest management of alfalfa. II- The implications of photosynthesis, respiration, and tap-root nonstructural carbohydrate accumulation on fall harvest management. *Agron. J.* 80: 693-698.
53. ESCALADA, J. A. and D. SMITH. 1972. Changes in nonstructural carbohydrates fractions at intervals down the tap root bark and wood of alfalfa (*Medicago sativa* L.) during regrowth. *Crop Sci.* 12: 745-749.
54. ESCUDER, C. J. y C. A. CANGIANO. 1995. Evaluación de mezclas de gramíneas y leguminosas bajo pastoreo. *Rev. Arg. de Prod. Anim.* Vol. 15 (1): 105-108.
55. EVANS, D. W. and R. N. PEADEN. 1984. Seasonal forage growth rate and solar energy conversion of irrigated Vernal alfalfa. *Crop Sci.* 24: 981-984.
56. FAIREY, D. T., L. P. LEFKOVITCH and N. A. FAIREY. 1996. The relationship between fall dormancy and germplasm source in North American alfalfa cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 76: 429-433.
57. FICK, G. W., D. A. HOLT and D. G. LUGG. 1988. Environmental physiology and crop growth. *In*: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill, Jr. (ed) *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. Agronomy Monograph N° 29, CSSA-ASSA-SSSA, Madison, WI, Ch. 5, pp. 163-194.
58. FLETCHER, L. R. 1976. Effect of season and regrowth period on the *in vitro* digestibility of irrigated lucerne in Canterbury. *New Zealand J. of Exp. Agric.* 4: 469.
59. FRAME, J., J. F. L. CHARLTON and A. S. LAIDLAW. 1998. Temperate forage legumes. CAB international, New York, USA, pp 113-114.
60. FRASINELLI, C. A. 1994. Influencia de algunas características de pasturas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sobre el comportamiento ingestivo de novillos en pastoreo. Tesis Magister Scientiae, Fac. Ciencias Agrarias, Univ. Nac. de Mar del Plata-INTA EEA Balcarce, 125 p.
61. FRASINELLI, C. A., C. J. ESCUDER, C. A. CANGIANO, S. CHIFFLET de VERDE y H. M. FERNÁNDEZ. 1994. Influencia de algunas características de cultivos de alfalfa sobre el consumo y comportamiento ingestivo de novillos en pastoreo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol 14 (Sup. 1): NA47.
62. FREER, M. 1981. The control of food intake by grazing animals. *In*: F. H. W. Morley (ed) *Grazing Animals*. World Animal Science. Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam, The Netherlands, pp. 105-124
63. FUESS, F. W. And M. B. TESAR. 1968. Photosynthetic efficiency, yields and leaf loss in alfalfa. *Crop Sci* 8: 159-163.
64. GALLI, J. R., C. A. CANGIANO y H. H. FERNÁNDEZ. 1999. Manual operativo. *In*: C. A. Cangiano (ed) *ConPast 3.0 - Programa de computación para la estimación del consumo de bovinos en pastoreo*. INTA EEA Balcarce, II- 1-49.
65. GDARA, A. O., R. H. HART and J. G. DEAN. 1991. Response of tap and creeping rooted alfalfas to defoliation patterns. *J. of Range Management* 44: 22-26.
66. GRAMSHAW, D., K. F. LOWE and D. L. LLOYD. 1993. Effect of cutting interval and winter dormancy on yield, persistence, nitrogen concentration and root reserves of irrigated lucerne in the Queensland subtropics. *Aust. J. Exp. Agric.* 33: 847-854.
67. HANSEN, C. J. 2002. Estimación del potencial de rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa*) pura y en mezcla con pasto ovillo (*Dactylis glomerata*). Tesis Ingeniero Agrónomo. Fac. Ciencias Agrarias, Univ. Nac. de Mar del Plata-INTA EEA Balcarce, 41 p.
68. HARRIS, W. 1978 Defoliation as determinant of the growth, persistence and composition of pasture. *In*: J. R. Wilson (ed) *Plant Relations in Pastures*. CSIRO, Australia, pp. 67-85.
69. HEICHEL, G. H., R. H. DELANEY and H. T. CRALLE. 1988. Carbon assimilation, partitioning and utilization. *In*: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill, Jr. (ed) *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. Agronomy Monograph N° 29, CSSA-ASSA-SSSA, Madison, WI, Ch. 6, pp. 196-227.

70. HERBERT, S. J., M. DEMPSEY, D. COOLEY and G. V. LITCHFIELD. 1989. Autumn management of lucerne. Proc. 16<sup>th</sup> International Grassland Congress. Nice, France, pp. 593-594.
71. HODGSON, J. 1982. Ingestive behaviour. In: J. D. Leaver (ed) Herbage Intake Handbook. British Grassland Society, pp. 113-138.
72. JANSON, C. G. 1975. Influence of autumn winter lucerne management and overdrilled «Grasslands Tama» on spring herbage yields under irrigated and dry conditions. New Zealand J. of Exp. Agric. 3: 229.
73. JUNG, G. A., J. A. SHAFFER and J. H. EVERHART. 1996. Harvest frequency and cultivar influence on yield and protein of alfalfa-ryegrass mixtures. Agronomy J. 88: 817-822.
74. KALU, A. and G. W. FICK. 1981. Quantifying morphological development of alfalfa for studies of herbage quality. Crop Sci. 21: 267-271.
75. KEOGHAN, J. M. 1967. Effects of cutting frequency and weight on topgrowth of pure lucerne stands. In: R. H. M. Langer (ed) The Lucerne Crop. A. H. & A. W. Reed, Wellington- Auckland-Sidney, pp. 117-128.
76. KIM, T. H., J. BIGOT, A. OURRY and J. BOUCAUD. 1993. Aminoacid content in xylem sap of regrowing alfalfa (*Medicago sativa* L.): relations with N uptake, N<sub>2</sub> fixation and N remobilization. Plant & Soil 149: 167-174.
77. LANGER, R. H. M. 1990. Pasture plants. In: R. H. M. Langer (ed) Pastures: Their Ecology and Management. Oxford University Press, Auckland, NZ, pp. 39-74.
78. LANGER, R. H. M. and J. M. KEOGHAN. 1970. Growth of lucerne following defoliation. Proc. of the New Zealand Grassland Assoc. 32 : 98-107.
79. LARROSA, M. A y J. A. CASTAÑO. 1998. Producción de forraje y semilla de pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) en Balcarce. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol. 18 (Sup. 1): 146-147.
80. LATTANZI, F. 1998 Crecimiento de cultivares de alfalfa con y sin reposo invernal en respuesta a la fertilización con nitrógeno. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol 18 (Sup 1): 115.
81. LEACH, G. J. 1968. The growth of the lucerne plant after cutting: the effects of cutting at different stages of maturity and at different intensities. Aust. J. Agric. Res. 19: 517-530.
82. LI, R., J. J. VOLENEC, B. C. JOERN and S. M. CUNNINGHAM. 1996. Seasonal changes in nonstructural carbohydrates, protein, and macronutrients in roots of alfalfa, red clover, sweetclover and birdsfoot trefoil. Crop Sci. 36: 617-623.
83. LODGE, G. M. 1991. Management practices and other factors contributing to the decline in persistence of grazed lucerne in temperate Australia. A review. Aust. J. Exp. Agric. 31: 713-724.
84. LLOVERAS J., J. FERRARI, A. ALVAREZ y L. TORRES. 1998. Harvest management effects on alfalfa (*Medicago sativa* L.) production and quality in Mediterranean areas. Grass & Forage Sci. 53: 88-92.
85. McLEOD, C. C. 1978. Influence of stage of growth at cutting on lucerne production. New Zealand J. Exp. Agric. 6: 285-288.
86. MARBLE V. L., G. PETERSON G. and C. A. SCHONER, Jr. 1988. Effect of fall/winter cutting on alfalfa (*Medicago sativa* L.) yield, pest management and stand life. Proc. 18<sup>th</sup> California Alfalfa Symposium. California. Dec. 7-8, pp 45-58.
87. MAYS, D. A. and E. M. EVANS. 1973. Autumn cutting effects on alfalfa yield and persistence in Alabama. Agron. J. 65: 290-292.
88. NELSON, C. J. And L. E. MOSER. 1994. Plant factors affecting forage quality. In: G. C. Fahey, Jr. (ed) Forage Quality, Evaluation and Utilization. ASA-CSSA-SSA, Madison, WI, pp. 115-154.
89. NORDKVIST, E. and P. ÅMAN. 1986. Changes during growth in anatomical and chemical composition and in vitro degradability of lucerne. J. Sci. Food Agricultural 37: 1-7.
90. PECE, M. A. 2000. Tasa de acumulación de la biomasa aérea en dos cultivares de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Tesis Magister Scientiae. Fac. Cs. Agrarias, Univ. Nac. de Mar del Plata-INTA EEA Balcarce, 108 p.
91. PECE, M. A. y C. A. CANGIANO. 2003. Tasa de acumulación de la biomasa aérea en dos cultivares de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en Balcarce. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol 23 (1): 33-43.
92. PECE, M. A., C. A. CANGIANO, y H. M. FERNÁNDEZ. 2000. Tasa de acumulación de la biomasa aérea de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y su relación con variables meteorológicas y cobertura de suelo. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol. 20 (Sup.1): 179-180.
93. RAPOPORT, H. F. and R. L. TRAVIS. 1984. Alfalfa root growth, cambial activity, and carbohydrate dynamics during the regrowth cycle. Crop Sci. 24: 899-902.
94. REYNOLDS, J. H. 1971. Carbohydrate trends in alfalfa (*Medicago sativa* L.) roots under several forage harvest schedules. Crop Sci. 11:103-106.
95. REYNOLDS, J. H. and D. SMITH. 1962. Trend of carbohydrates reserves in alfalfa, smooth brome grass, and timothy grown under various cutting schedules. Crop Sci. 2: 333-336.



96. ROMERO, N. 1988. Investigaciones y progresos en el manejo de la alfalfa. III. Producción y persistencia. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol. 8 (6): 519.
97. ROMERO, N. A., E. A. COMERON y E. USTARROZ, E. 1995. Crecimiento y utilización de la alfalfa. *In: E. Hijano y A. Navarro (ed) La alfalfa en la Argentina.* INTA Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, Cap. 8, pp 149-170.
98. ROSSI, J. L., R. MORIYA y O. V. SATORRE. 1988. Efecto del descanso sobre la productividad de la alfalfa. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol. 8 (Sup. 1): 93.
99. SANTINI, F., E. GONZALEZ y J. C. AROSTEGUY. 1975. Crecimiento estacional de gramíneas y leguminosas puras y en mezclas. INTA-EEA Balcarce, Reunión Anual Departamento de Prod. Animal, s/p.
100. SHEAFFER, C. C., G. D. LACEFIELD and V. L. MARBLE. 1988. Cutting Schedules and Stands. *In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill, Jr. (ed) Alfalfa and Alfalfa Improvement.* Agronomy Monograph N° 29, CSSA-ASSA-SSSA, Madison, WI, Ch. 12, pp. 411-437.
101. SHEEHY, J. E., F. I. WOODWARD, M. B. JONES and A. WINDRAM. 1979. Microclimate, photosynthesis and growth of Lucerne (*Medicago sativa* L.). I. Microclimate and photosynthesis. *Annals of Botany* 44: 693-707.
102. SMITH, D. 1972. Cutting schedules and maintaining pure stands. *In: C. H. Hanson (ed) Alfalfa Science and Technology.* ASA, Agronomy 15. Madison, WI, Ch 22, pp. 481-496.
103. SMITH, S. R., Jr., J. H. BOUTON and C. S. HOVELAND. 1989. Alfalfa persistence and regrowth potential under continuous grazing. *Agron. J.* 81: 960-965.
104. TA, T.C., F. D. MACDOWALL and M. A. FARIS. 1990. Utilization of carbon and nitrogenous reserves of alfalfa roots in supporting N<sub>2</sub> fixation and shoot regrowth. *Plant & Soil* 127: 231-236.
105. TESAR M. B. and J. L. YAGER. 1985. Fall cutting of alfalfa in the North Central USA. *Agron. J.* 77: 774-778.
106. THOMSON, D. J. 1984. The nutritive value of white clover. *In: D. J. Thomson (ed) Forage Legumes.* British Grassland Society, Occasional Symposium N° 16, pp. 78-92.
107. THOMSON, D. J. 1979. Effect of the proportion of legumes in the sward on animal output. *In: A. H. Charles and R. J. Haggard (ed.) Changes in Sward Composition and Productivity.* British Grassland Society, Occasional Symposium N° 10, pp. 101-109.
108. UENO, M. and D. SMITH. 1970. Growth and carbohydrate changes in the root wood and bark of different sized alfalfa plants during regrowth after cutting. *Crop Sci.* 10: 396-399.
109. ULYATT, M. J. 1981. The feeding value of temperate pastures. *In: F. H. W. Morley (ed) Grazing Animals.* World Animal Science. Elsevier Scientific Publishing Co., pp. 125-141. Amsterdam, The Netherlands.
110. VOLENEC, J. J. 1985. Leaf area expansion and shoot elongation of diverse alfalfa germplasm. *Crop Sci.* 25: 822-827.
111. VOUGH, L. R. and G. C. MARTEN. 1971. Influence of soil moisture and ambient temperature on yield and quality of alfalfa forage. *Agron. J.* 63: 40-42.
112. WHITE, J. G. H. and W. J. LUCAS. 1989. Cool season grazing of winter-active lucernes. *Proc. 16<sup>th</sup> International Grassland Congress.* Nice, France, pp. 387-388.
113. WILDING, M. D., M. A. STAHMANN and D. SMITH. 1960. Free aminoacids in alfalfa as related to cold hardiness. *Plant Physiol.* 55: 726-732.
114. WOLF, D. D. and R. E. BLASER. 1981. Flexible alfalfa management: early spring utilization. *Crop Sci.* 21: 90-93.
115. WOLF, D. D. and R. E. BLASER. 1971. Photosynthesis of plant parts of alfalfa canopies. *Crop Sci.* 11: 55-58.
116. WOODWARD, F.I. and J. E. SHEEHY. 1979. Microclimate, photosynthesis and growth of Lucerne (*Medicago sativa* L.). II. Canopy structure and growth. *Annals of Botany* 44: 709-719.
117. ZANIBONI, C. 1990 a. Efecto de la frecuencia de corte en primavera y otoño en la longevidad y productividad de la alfalfa. Informe presentado en Reunión Interna sobre Manejo de Alfalfa, INTA EEA Anguil, La Pampa, 27-28 de noviembre, s/p.
118. ZANIBONI, C. 1990 b. Niveles de subdivisiones y velocidad de rotación del pastoreo y su relación con la longevidad de la alfalfa. Informe presentado en Reunión Interna sobre Manejo de Alfalfa, INTA EEA Anguil, La Pampa, 27-28. de noviembre, s/p.
119. ZANIBONI, C. M. y A. DILLON. 1997. Evaluación de cultivares de alfalfa con distinto reposo invernal bajo pastoreo. 1. Producción de forraje y persistencia. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol. 17 (Sup. 1): 105-106



## Manejo y utilización de pasturas de alfalfa en producción de carne

*Méd. Vet. (MSc) Andrés M. Kloster*

EEA Marcos Juárez - INTA

*Ing. Agr. Claudio M. Zaniboni*

EEA General Villegas - INTA



## Introducción

Los sistemas de producción de carne sobre pasturas se destacan por su flexibilidad para adaptarse a distintas contingencias (climáticas, relaciones de precio insumo: producto, demanda, etc.) sin necesidad de variar sustancialmente sus factores de producción. Por esta razón, la alimentación de tipo pastoril continúa siendo una característica distintiva de los sistemas de producción bovina en la Argentina (45). En este marco, las pasturas base alfalfa constituyen uno de los principales recursos forrajeros de los planteos pastoriles de engorde de ganado bovino en la Región Pampeana.

Una característica muy ponderada de esta especie es su elevada capacidad de producción de forraje de calidad, fácilmente transformable en producto animal. Estos atributos sustentan la alta receptividad de las pasturas en las que interviene, las cuales, eficientemente utilizadas mediante una carga adecuada, suelen generar excelentes resultados físicos y económicos. De hecho, la incidencia de la pastura en el costo unitario de carne producida puede disminuir tanto cuanto más se favorezcan las condiciones que permitan la expresión de su capacidad de producción de forraje.

## La alfalfa como eje de las cadenas forrajeras

La alfalfa es una especie de alta producción de forraje durante el período comprendido entre la primavera y el otoño. La misma puede prosperar en un amplio rango de situaciones ecológicas (24, 79), lo que permite integrar su cultivo en las rotaciones de los principales sistemas de producción agrícola-ganaderos (66).

La productividad de forraje de esta leguminosa se halla fuertemente afectada por el ambiente ecológico. En la Región Pampeana Norte, las pasturas de alfalfa y sus mezclas pueden alcanzar, en condiciones de pastoreo, un rendimiento anual promedio de 10,5 a 12 t MS (materia seca) ha<sup>-1</sup> durante el ciclo de vida útil de la pastura. En condiciones favorables se han logrado, bajo pastoreo, producciones de hasta 15 t MS ha<sup>-1</sup> en el NO de la provincia de Buenos Aires y de 17 t MS ha<sup>-1</sup> en el SE de Córdoba (45, 78). Esta alta capacidad productiva coloca a la alfalfa como eje de cualquier planteo forrajero en todas aquellas zonas con condiciones edafoclimáticas adecuadas para su implantación y desarrollo.

## Utilización de la alfalfa en condiciones de pastoreo

En la Argentina, la mayor parte de las pasturas base alfalfa se utilizan bajo pastoreo directo. El pastoreo continuo de esta especie, muy difundido en el pasado, ha sido sustituido progresivamente por sistemas rotativos con grados variables de intensificación en lo que respecta al número de subdivisiones de los potreros (66).

Un eficiente aprovechamiento de las pasturas base alfalfa debiera centrar el esfuerzo en lograr una alta producción de forraje en cantidad y calidad, con una buena distribución a lo largo del año, y en la aplicación de criterios de manejo compatibles con la persistencia del cultivo.

Las particularidades del crecimiento de la especie requieren especial consideración, pues de ello depende en gran medida la productividad de forraje. Sus características morfológicas, fisiológicas y el grado de latencia invernal de cada cultivar condicionan el sistema de utilización. En condiciones de pastoreo, este proceso adquiere tal dinamismo que requiere, a su vez, ajustes permanentes.

El conocimiento del impacto de las distintas variables de manejo del pastoreo sobre la productividad, calidad y longevidad de las pasturas, así como sus efectos sobre el animal, aporta elementos decisivos para mejorar la eficiencia global de utilización de la alfalfa. En este sentido, la carga animal y el sistema de utilización constituyen dos pilares fundamentales de manejo que determinan el rendimiento de un sistema de producción animal (52, 53, 43, 78).

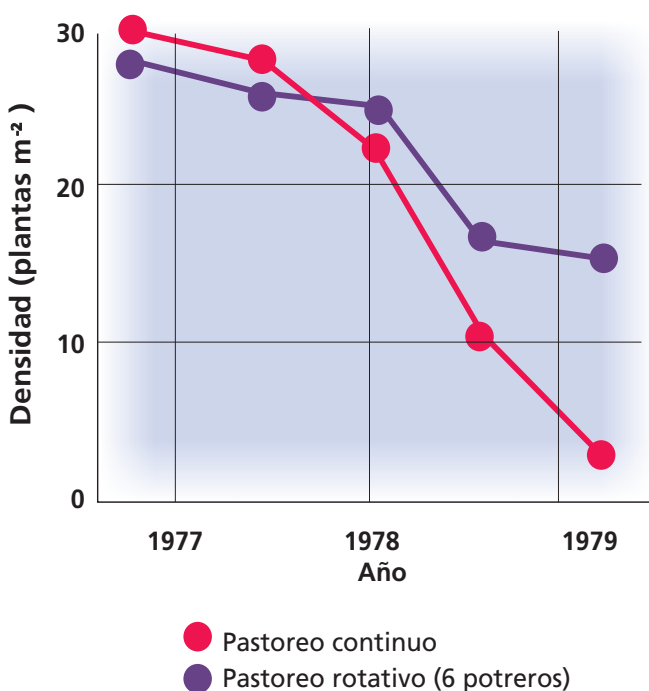
La mayoría de los investigadores coinciden en que la alfalfa responde con mayor producción y persistencia cuando se la somete a un sistema de pastoreo rotativo que respete sus ciclos de crecimiento (69, 3, 24, 78, 30, 66). En condiciones prácticas, y en buena medida, la productividad animal dependerá de la carga, del cultivar implantado, de la intensidad y la frecuencia de defoliación y del tipo de animal utilizado (66). La integración y el ajuste de estas variables con el resto de los componentes del sistema de producción constituyen uno de los mayores desafíos de los planteos de intensificación de las invernadas pastoriles, dentro de un marco de alta productividad y eficiencia.

### **Pastoreo rotativo: herramienta indispensable para el manejo de las pasturas base alfalfa**

El efecto del sistema de pastoreo sobre la productividad (tanto primaria como secundaria) ha sido frecuentemente motivo de discusión, especialmente cuando se ha confrontado al pastoreo continuo con distintos sistemas rotativos en mayoritariamente pasturas sobre la base de gramíneas (52, 26, 40, 77) o pastizales naturales (31).

Además de las particularidades ecológicas, biológicas y metodológicas subyacentes en este tipo de comparaciones, la plasticidad de las especies suele afectar marcadamente la respuesta al método de pastoreo. Así por ejemplo, el raigrás (*Lolium perenne* L.) y el trébol blanco (*Trifolium repens* L.) tienen una gran plasticidad morfogénica que les permite soportar un amplio rango de frecuencias e intensidades de defoliación (27). Por el contrario, las leguminosas erectas tipo alfalfa no toleran defoliaciones frecuentes, aunque éstas sean relativamente laxas (48, 49).

Bajo pastoreo continuo, las plantas individuales de alfalfa se encuentran sometidas a una defoliación tan frecuente que conduce a un debilitamiento general de las mismas, con menor producción de forraje y reducción de su sistema radicular. Esto acelera la muerte de la planta ante situaciones adversas como períodos de sequía, ataques de plagas o enfermedades, heladas intensas, etc. (66, 83). En la Figura 1 puede apreciarse la disminución en el número de plantas por unidad de superficie en una alfalfa sometida al pastoreo continuo durante varias temporadas, y la aceptable persistencia de la misma pastura bajo pastoreo rotativo.



**FIGURA 1** - Evolución del número de plantas de alfalfa bajo dos sistemas de pastoreo: continuo y rotativo (6 parcelas). Adaptado de Romero, N. (62).

Por lo tanto, la utilización de un sistema rotativo en pasturas base alfalfa es un componente de manejo del pastoreo que admite pocas discusiones, al menos para el grueso del germoplasma más difundido en la actualidad. Este método de pastoreo posibilita brindar a la alfalfa el descanso necesario entre defoliaciones para que la recomposición de reservas en las raíces permita rebrotes vigorosos y praderas longevas y productivas (2, 20, 66).

Uno de los pilares que sustenta el adecuado aprovechamiento de la alfalfa bajo pastoreo rotativo es el conocimiento de los procesos que gobiernan el crecimiento y la acumulación de forraje. En este sentido, resulta de gran importancia la dinámica de acumulación y movilización de los carbohidratos (CHO) de reserva. Estas sustancias son la fuente energética utilizada por la planta para sobrevivir en invierno, iniciar el crecimiento primaveral y sostener la primera fase del rebrote después de cada período de utilización (3, 7). Una completa descripción de estos procesos se ofrece en el Capítulo 12.

En la alfalfa, la acumulación y utilización de CHO obedece un fuerte patrón cíclico, de crecimiento «por ondas», que puede ser alterado por el sistema de utilización y que es muy sensible a los errores de manejo, pudiendo estos últimos repercutir severamente sobre la persistencia de los alfalfares.

La principal ventaja del pastoreo rotativo radica en que éste respeta los ciclos de crecimiento de la planta, lográndose así una mayor acumulación de forraje y longevidad de la pastura (3, 20, 30, 66). A esto deben sumarse sus beneficios secundarios o indirectos como el mejor control de la cantidad de forraje ofrecido, de la profundidad de defoliación y de las pérdidas de forraje; además, facilita la confección de reservas y el monitoreo de las características del remanente a la salida de una parcela de pastoreo (3, 21).

### ***Crterios para determinar el momento de utilización de la alfalfa***

Se ha intentado fijar criterios prácticos para establecer de manera simple el momento apropiado para el inicio del pastoreo de un rebrote de alfalfa, basado en la llamada madurez fisiológica de la planta. Este estado se asocia con la aparición de flores o de rebrotes basales desde la corona (66).

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 las raíces. La dificultad surge en determinadas épocas del año con las variedades sin reposo invernal que, aunque pueden seguir creciendo, no florecen, o bien el proceso se encuentra demasiado afectado por factores ambientales; esto hace sumamente errática la definición de períodos de descanso y de pastoreo basados solamente en este criterio. Por ello, se recomienda considerar también la aparición de rebrotes de la corona, especialmente durante fines de otoño, invierno y principios de primavera. En este período, las pasturas, a pesar de estar en condiciones de ser utilizadas, tienen la floración retardada por efecto de las bajas temperaturas y un fotoperíodo de días cortos.

Por lo tanto, el comienzo del pastoreo podría definirse como el momento en que se produce el 10% de floración o cuando los rebrotes basales (desde la corona) alcanzan 3 a 5 cm de altura. Procediendo así, resulta posible compatibilizar la productividad y la persistencia del alfalfar con aceptables parámetros de calidad del forraje (3, 66, 69).

Durante cada ciclo de crecimiento, a medida que la planta avanza en su estado de madurez, la composición química del forraje sufre cambios. Un tratamiento detallado de estos temas se ofrece en el Capítulo 14. Como regla general puede decirse que los aprovechamientos tardíos de un rebrote aumentan la cantidad de MS acumulada pero en detrimento de la



calidad (72, 58) y de la facilidad de cosecha (58); de este modo, el consumo animal y las ganancias de peso, en los sistemas pastoriles puros, normalmente se resienten. Sólo como excepción, esta estrategia de acumulación de forraje podría aplicarse a la confección de reservas, sobre todo en sistemas que necesiten privilegiar volumen y toleren la inserción de henos de menor calidad.

Otra forma de estimar el descenso de la calidad del forraje con el avance del estado de madurez es determinar la relación hoja:tallo. Maddaloni y Solá (50) encontraron que durante el primer verano de vida de una variedad de latencia intermedia, la relación hoja:tallo fue 1,14 al 10% de floración y 0,40 al 100 % de floración. En el mismo trabajo se midió una digestibilidad del tallo de 74,2 % en un rebrote de 4 semanas y de 48,7% al 100% de floración.

Como las hojas tienen mayor contenido de nutrientes que los tallos (12), el principal objetivo del manejo del pastoreo debería estar orientado a cosechar principalmente esta fracción del forraje (58). Pese a que las hojas sufren pocos cambios en su digestibilidad a medida que el rebrote envejece, su proporción en la planta decrece y, en consecuencia, la participación porcentual de los tallos aumenta (54, 64). Paralelamente, también se incrementa el contenido de fibra (especialmente lignina) de los tallos (12, 3, 54), de modo que la digestibilidad del forraje y el consumo animal disminuyen (58).

En contraposición, la utilización temprana -como en estado de prebotón floral- mejora la calidad pero disminuye la cantidad de forraje acumulado durante el período de reposo y, si estos manejos se repiten en el tiempo, atentan contra la persistencia del alfalfar (3, 66, 72).

### ***Duración del período de descanso, producción y persistencia de los alfalfares***

Ya se ha hecho referencia a la necesidad de utilizar un sistema de pastoreo rotativo que, con adecuados descansos entre pastoreos, permita recomponer el nivel de CHO de reserva para lograr rebrotes productivos y vigorosos.

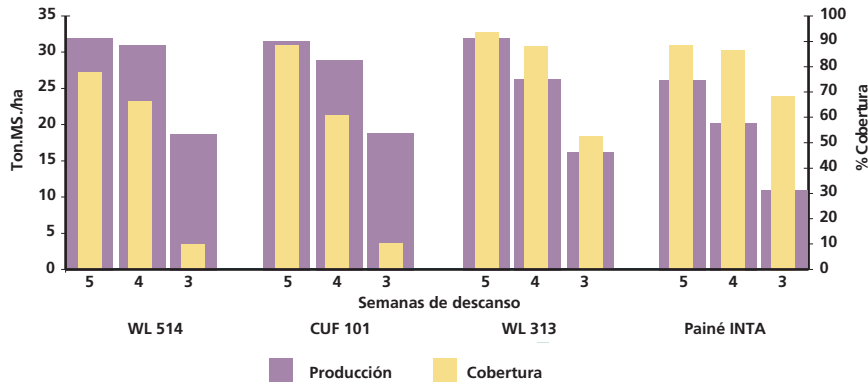
Los parámetros que definen un sistema rotativo son los períodos de descanso y de pastoreo (66). Los primeros ensayos realizados en las estaciones experimentales del INTA en Anguil, Gral. Villegas, Marcos Juárez y Manfredi, usando germoplasma de reposo invernal largo (grupos 3 y 4), coincidieron en la necesidad de respetar períodos de descanso de 35 a 42 días a fin de mantener un alfalfar productivo y con una longevidad superior a los 4 años (2, 62). También se realizaron experiencias a fin de comparar la producción de carne con distintos sistemas de utilización, fundamentalmente de pastoreo continuo *versus* rotativos con bajo número de parcelas. En general, se observó una mayor producción de carne durante el primer año con el sistema continuo, aunque asociado a una alta pérdida de plantas a partir del segundo año; al cabo de tres temporadas, éste fue superado ampliamente por el sistema de 6 parcelas (7 días de pastoreo x 35 días de descanso) (66, 68).

Con la introducción de los cultivares de reposo invernal intermedio y sin reposo, de hábito de crecimiento erecto, coronas angostas, menor número de tallos y mayor velocidad inicial de rebrote (69), numerosos autores coincidieron en la necesidad de redefinir pautas de manejo apropiadas para esta nueva situación. De este modo, se trabajó con cultivares de grado de reposo invernal (GRI) 3 a 9 para evaluar el efecto de la frecuencia de corte y de la longitud del período de pastoreo sobre su producción y persistencia.

Respecto a la frecuencia de defoliación, considerada como cortes a intervalos prefijados cada 3, 4 ó 5 semanas (84) o a distintos estados fenológicos (50), se comprobó que ante la disminución de la frecuencia de cortes se incrementaba la producción de MS y la persisten-

cia, independientemente del grado de latencia del cultivar. Los cultivares con menor latencia, a pesar de sus buenas producciones durante los primeros 2 años, fueron los más afectados por el aumento de la frecuencia de defoliación, a punto tal que los cultivares de GRI 8 y 9 sólo persistieron 2 años cuando se los cortó cada 3 semanas. Los materiales de latencia intermedia (GRI 5-7), en el rango de períodos de descanso evaluados, presentaron mayor estabilidad; en el caso General Villegas, tuvieron también mayor producción que aquellos sin latencia (Figura 2).

En virtud de la asociación entre el contenido de carbohidratos de reserva en raíces y la longevidad de la alfalfa, resulta fundamental que ante la aparición de los primeros fríos el nivel de reservas se encuentre lo más elevado posible. Este último está afectado por el umbral térmico en



**FIGURA 2-** Efecto de la frecuencia de corte sobre la productividad t MS ha<sup>-1</sup> y el grado de cobertura (%) de cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo invernal. Adaptado de Zaniboni, C. M. (85)

que cada cultivar detiene su crecimiento. Las bajas temperaturas tienen menor influencia sobre la detención del crecimiento de las variedades sin latencia, lo que puede resultar una desventaja puesto que al continuar creciendo siguen consumiendo reservas (11).

El otoño fue frecuentemente considerado un período crítico para la utilización de la alfalfa (63). En esta estación se requiere un crecimiento vigoroso para recuperar un nivel adecuado de reservas que permita desarrollar resistencia al frío, sobrevivir al invierno e iniciar un nuevo crecimiento en primavera.

En la región semiárida pampeana, con períodos de uso otoñal largos, el pastoreo continuo redujo la población de plantas y la producción de forraje (33). Los posibles efectos negativos de la utilización en esta estación están afectados por la longitud del otoño, el grado de latencia de las variedades y el manejo previo durante la primavera y el verano (63). Las variedades con mayor reposo resultan menos sensibles a los efectos negativos del pastoreo en esta época (66).

Las altas temperaturas otoñales reducen el contenido de CHO de reserva, lo cual -asociado a defoliaciones frecuentes- ha sido correlacionado con menor producción y pérdida de plantas, especialmente en variedades sin latencia. Por el contrario, las temperaturas bajas en otoño -y el consiguiente menor crecimiento de la alfalfa bajo esas condiciones- favorece la acumulación de reservas en raíces (69). Experiencias realizadas en INTA General Villegas indican que para cultivares de reposo intermedio a sin reposo es necesario disminuir la frecuencia de utilización a 45 días en otoño y hasta 70 días en invierno (29). En ambientes con utilización de las alfalfas durante casi todo el año, tal como sucede en el sudeste de Córdoba o en el sur de Santa Fe, un adecuado manejo debe contemplar descansos otoño-invernales no menores a 45 días (69).

Sobre la base de todo lo anterior, y a las evidencias aportadas por otros trabajos (72, 51, 2, 3, 30), se concluye que, aun con los cultivares actualmente en uso, se requieren períodos de 35 a 42 días de recuperación entre pastoreos para lograr alta producción de forraje y buena persistencia en alfalfa.

## Duración del período de pastoreo

Southwood y Robards (74) sugirieron que períodos de pastoreo de 5 a 10 días serían suficientes para asegurar una alta producción y persistencia de la alfalfa, sin necesidad de utilizar sistemas con períodos de pastoreo más cortos. Estos períodos relativamente largos han sido aceptados como una guía adecuada de manejo por otros autores (49, 66, 24, 17, 79, 3).

En las estaciones experimentales del INTA en Anguil, General Villegas y Marcos Juárez se ensayaron períodos de pastoreo de 3, 6, 12 y 18 días, con un descanso de 35 días. Coincidentemente, luego de cuatro temporadas, se logró la mayor persistencia con pastoreos de 6 y 12 días; los períodos de pastoreo extremos (3 y 18 días) redujeron el número de plantas, especialmente en cultivares sin reposo (66, 68) (Figura 3).

Si bien con algunas variantes, se concluye que la producción de forraje y la persistencia se reducen con los pastoreos de duración extrema. En ese contexto, los cultivares sin reposo son los más afectados y los de reposo intermedio, los menos perjudicados (66, 68).

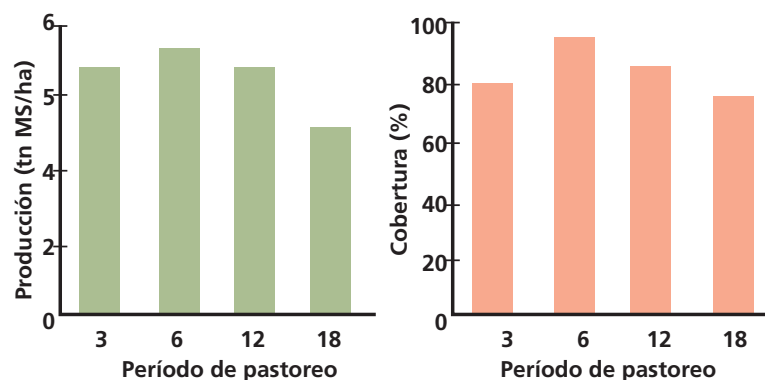


FIGURA 3 – Producción de forraje (t MS ha<sup>-1</sup>) y cobertura (%) de alfalfas sometidas a distintos períodos de pastoreo (3, 6, 12 y 18 días). Adaptado de Romero y col. (66).

A efectos de explicar los resultados anteriores, puede decirse que en los pastoreos de larga duración (ejemplo: 18 días), el animal suele consumir los rebrotes basales, provocando con ello el agotamiento de las reservas de raíz. Cagnaz y Rossanigo (20), en un ensayo llevado a cabo en la EEA Marcos Juárez, observaron que un período de pastoreo de 18 días disminuyó la población de plantas de la variedad CUF 101, pero no afectó a los cultivares con reposo largo o intermedio. En el mismo ensayo se comprobó que un período

de 2 días de pastoreo no afectó la persistencia de ninguna de las variedades ensayadas.

En igual sentido, una posible explicación de por qué los pastoreos demasiado cortos pueden afectar negativamente la persistencia, podría estar vinculada con diferencias de comportamiento de la alfalfa frente a la defoliación por corte o pastoreo (18). Mientras que en un sistema de utilización bajo corte la cosecha mecánica reduce el área foliar de manera drástica e instantánea (78), en un sistema de uso bajo pastoreo con permanencia relativamente larga los animales realizan una defoliación gradual de la cubierta vegetal (82). En este último caso, las hojas remanentes, que normalmente tienen una actividad fotosintética relativamente baja (9), pueden recuperar esta capacidad frente a una mejor exposición lumínica (36) y así contribuir significativamente a la maduración de las yemas de la corona, que darán origen a un nuevo crecimiento.

Según Cosgrove y White (17), la generación y maduración de yemas de la corona se favorece con pastoreos de hasta 12 días, especialmente cuando la alfalfa es consumida en estados de madurez temprana. Según estos autores, el período óptimo de pastoreo depende también del estado fenológico del alfalfar al momento del pastoreo, a punto tal que la permanencia de los animales en una parcela puede acortarse si la alfalfa se encuentra en un estado relativamente avanzado de madurez.

En la EEA Manfredi, Spada y Mombelli (76) compararon durante 4 años dos sistemas de utilización (corte *versus* pastoreo simulando 7 días de permanencia) en alfalfas de GRI 6 a 9. Si bien no detectaron diferencias en persistencia, concluyeron que la producción de forraje fue en promedio 28% menor en el tratamiento bajo corte.

De todo lo expuesto, se infiere la dificultad de definir una única recomendación de manejo para las pasturas base alfalfa. Al concepto de que la alfalfa puede ser manejada con sistemas de ocupación de parcela relativamente largos, sin desmedro de su persistencia y productividad (3, 66), se oponen recomendaciones a favor de períodos de pastoreo más cortos (30). En consecuencia, se concluye en que el período de permanencia en la parcela debe adecuarse a las diferencias de crecimiento del cultivo, que son propias del lugar geográfico, de la época del año, de las condiciones climáticas, de la longitud del ciclo de utilización y del grado de reposo invernal del cultivar.

### **Productividad de carne en sistemas con distinta duración del período de pastoreo**

En términos generales, se acepta que las diferencias de productividad animal entre sistemas de pastoreo parecen relacionarse directamente con la capacidad de lograr una mayor acumulación de MS global en la oferta de forraje (26, 31).

En alfalfa, es evidente el efecto detrimental del pastoreo continuo sobre la persistencia y la productividad de la pastura (3, 62, 66); sin embargo, las variantes entre sistemas rotativos *per se* no producen diferencias (4, 5, 66, 70), o sólo podrían explicar incrementos muy pequeños en productividad de carne cuando el resto de los componentes de un buen manejo de la pradera se mantienen inalterados (21, 41).

Cuando se respeta un adecuado descanso entre pastoreos en cada época del año, el grado de subdivisiones o el período de ocupación de una parcela no constituye un factor de alto impacto sobre la productividad de las pasturas base alfalfa, siempre que el mismo no supere la semana de duración. En este sentido, la elección de la carga animal apropiada juega un rol mucho más decisivo sobre las ganancias individuales de peso y la productividad por unidad de superficie (41).

En la EEA Marcos Juárez se comparó un sistema de pastoreo rotativo convencional (7 días de ocupación por parcela) con otro de 2 días de pastoreo por franja, manteniendo un descanso medio de 35 días entre defoliaciones e igual asignación de forraje entre sistemas. Los resultados promedio de tres ciclos de pastoreo de 12 meses (otoño a otoño) se presentan en el Cuadro 1.

El efecto positivo que el período de pastoreo de 2 días tuvo sobre la producción primaria puede explicarse por su mayor número de defoliaciones (+ 1,17 por año), que generó un ciclo de pastoreo + descanso de

**CUADRO 1.** Rendimiento de forraje y producción de carne en dos sistemas de pastoreo (SP) rotativo con períodos de ocupación de parcela de 2 y 7 días en la EEA Marcos Juárez. Adaptado de Kloster y col. (43).

Variable	SP-7 días	SP-2 días	Diferencia (%)	Signific. (p<0,05)
Producción de MS (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	10.582	11.888	+ 12,3	**
Asignación (g MS kg p.v. <sup>-1</sup> )	27,9	27,8	-	NS
Carga animal (kg ha <sup>-1</sup> )	1099	1241	+ 12,9	**
Consumo (g MS kg p.v. <sup>-1</sup> )	18,0	18,5	-	NS
Eficiencia de cosecha (%)	64,8	66,9	-	NS
AMD (g día <sup>-1</sup> )	564	544	-	NS
Productividad (kg ha <sup>-1</sup> )	660	734	+ 11,2	*

Referencias: MS = materia seca; p.v. = peso vivo

36 días (2 + 34), a diferencia del ciclo de 42 días (7 +35) del otro sistema. En este sentido, Cosgrove y White (17), tomando como escala de comparación unos pocos rebrotes, no detectaron diferencias en productividad de MS entre sistemas con 3 y 12 días de pastoreo e igual período de descanso. No obstante, dichos autores sugieren que, en el largo plazo, podrían ocurrir diferencias a favor de los sistemas de corta ocupación, dado que éstos permiten incrementar ligeramente la cantidad de pastoreos por temporada.

Al equiparar en ambos sistemas la asignación de forraje (Cuadro 1), la diferencia en productividad de MS a favor del SP-2d justificó en éste un aumento medio de carga de 12,9 % con respecto al SP-7d. Con este planteo, al no detectarse diferencias en AMD entre sistemas, la productividad de carne por ha del SP-2d superó en 11,2% a la del SP-7d. Esta brecha, más que una situación común, parece ser un punto casi extremo de expectativa de beneficio por modificación del sistema de pastoreo, manteniendo constante el resto de los factores de manejo. En general, hay concordancia para otorgar al efecto aislado del sistema de pastoreo una chance muy baja para modificar la productividad de carne (26, 31, 77).

### ***Carga animal e intensidad de utilización de la pastura***

Se define como carga animal al número de animales en pastoreo por unidad de superficie, sin consideración alguna sobre la cantidad de forraje disponible en la misma. En cambio, la presión de pastoreo se refiere al número de animales por unidad de forraje disponible (52). Esta última expresión o su inversa, la asignación de forraje, resulta mucho más indicativa de la intensidad de uso de la pastura que la carga. Como las variaciones de suelo y clima tornan muy difícil predecir la producción forrajera, el modo de extrapolar la producción animal a distintas condiciones de crecimiento de la alfalfa debería pivotar sobre la relación entre la productividad individual y la asignación de forraje, o el porcentaje de utilización de la pastura, y no relacionarse solamente con la carga (78).

La carga animal es una variable de gran impacto sobre la producción de un sistema (52, 78). La misma, junto con la cantidad de forraje producido, su valor nutritivo, el consumo y la eficiencia de transformación del forraje definen la productividad de un sistema ganadero (53). Según Hodgson (35), la mayor productividad por unidad de superficie que suele lograrse con un aumento de carga se relaciona, en buena medida, con una mayor eficiencia de utilización del forraje producido.

Entre los efectos negativos del animal sobre la pastura, es necesario contabilizar la pérdida de plantas de alfalfa ante cargas instantáneas muy altas (16), sobre todo si el sistema de pastoreo no es el adecuado (83). Por otra parte, también pueden afectarse algunas propiedades físicas del suelo conforme la presión de pastoreo se incrementa (42).

La comprensión del equilibrio existente entre los principales procesos que intervienen en el crecimiento y la utilización de las pasturas es fundamental para optimizar el manejo del pastoreo. Un objetivo central del mismo consiste en lograr un alto porcentaje de utilización del forraje a través de un manejo adecuado de la presión de pastoreo.

Desde el punto de vista de la respuesta animal, debe considerarse que el efecto de la intensidad de utilización de la pastura sobre las ganancias individuales es diferente en las distintas épocas del año. En invierno, en estado vegetativo, las pasturas ofrecen gran facilidad de cosecha y la respuesta animal suele acompañar el nivel de asignación de forraje, dado que éste normalmente es limitante. A principios de primavera esta situación de facilidad de cosecha persiste, la oferta de pasto aumenta y las ganancias individuales se independizan relativamente de la cantidad de forraje ofrecido. En verano, en cambio, las pasturas mixtas pierden calidad rápidamente y adquieren una estructura que dificulta su



cosecha en pastoreo. Por ello, para obtener aceptables ganancias individuales en esta época del año, es necesario trabajar con una eficiencia de cosecha menor que la tolerada en primavera. En el Cuadro 2 puede apreciarse el diferente comportamiento de las ganancias individuales en dos estaciones del año, y cómo su dependencia de la asignación de forraje resulta más sensible en verano.

Esta situación parece ser bastante generalizada ya que coincide con la información obtenida por la EEA General Villegas en el NO de Buenos Aires (Cuadro 3), donde se reitera un panorama de similares ganancias de peso entre niveles de asignación de forraje durante la primavera, y un quiebre notorio de éstas en el verano.

Cuando se planifican aumentos de carga en el sistema, debe tenerse en cuenta la particular estructura de las pasturas base alfalfa. La diferente distribución vertical de hojas y tallos en esta especie se traduce en diferencias de calidad (Cuadro 4), facilidad de cosecha y consumo (23), fundamentalmente en primavera avanzada y verano. La porción superior de la cubierta vegetal posee mayor riqueza de hojas, más proteína y mayor digestibilidad (12, 28). A su vez, la mayor densidad de hojas de los estratos superiores facilita la cosecha y aumenta la tasa de consumo (22, 23); lo opuesto ocurre cuando se profundiza la cosecha hacia planos basales de la pastura (23), mucho más ricos en tallos (12).

**CUADRO 2.** Asignación de forraje, eficiencia de cosecha y respuesta animal en dos épocas de pastoreo. Adaptado de Ustarroz y col. (78).

EPOCA	Asignación MS (% de p.v.)	Eficiencia de cosecha (%)	Ganancia de peso (g día <sup>-1</sup> )
Primavera	3,3	75	1002
	4,4	64	1032
	7,9	39	1097
Verano	2,4	84	565
	2,8	78	595
	4,9	60,5	699

Referencia: p.v. = peso vivo.

**CUADRO 3.** Ganancia de peso vivo y producción de carne en el período primavero-estival comparando distintos niveles de asignación de forraje en pasturas de alfalfa y gramíneas. EEA General Villegas – Guía Práctica de Ganadería Vacuna (37).

Asignación de forraje	Carga Animal	Ganancia diaria de peso (kg animal <sup>-1</sup> )				Promedio	Producción en 105 días (kg ha <sup>-1</sup> )
		Períodos					
% de p.v.	kg p.v. ha <sup>-1</sup>	1	2	3	4		
3,5	954	0,670	1,060	0,810	0,510	0,760	252
4,25	810	0,720	0,900	0,750	0,530	0,725	203
5,0	721	0,810	0,890	0,750	0,680	0,780	197

Referencia: p.v. = peso vivo.

Estas particularidades tienen muchas implicancias prácticas sobre la respuesta a la intensidad de utilización de las pasturas base alfalfa, fundamentalmente en primavera avanzada y verano. Con frecuencia, en esta época resulta necesario encontrar un punto de equilibrio entre la eficiencia de cosecha, la productividad por unidad de superficie y el nivel de ganancias individuales.

Cuando Kloster y col. (43) compararon la respuesta animal sobre pasturas de alfalfa consociada con gramíneas durante tres años, observaron que una mayor eficiencia de cosecha lograda a una asignación de forraje más baja trajo aparejada una disminución de las

ganancias individuales. En consecuencia, aunque la productividad por hectárea se incrementó, no lo hizo en la misma proporción que la variación de la asignación forrajera (Cuadro 5).

La relación entre la carga animal, la ganancia de peso individual de los animales y la productividad de

carne por hectárea es conocida y aceptada (55, 39); sin embargo, dada la multiplicidad de otros factores subyacentes, resulta difícil de predecir en condiciones prácticas. Así, con porcentajes de utilización similares a los empleados en Marcos Juárez (43), Kugler y Barbarossa (47) no encontraron diferencias en ganancia de peso entre dos niveles de carga. Estas respuestas poco convencionales podrían estar en sintonía con otros trabajos que no detectaron efectos de carga sobre el consumo y la calidad del forraje consumido, posiblemente por una selección de dieta de los animales (56, 57).

**CUADRO 4.** Digestibilidad y contenido proteico del forraje de alfalfa en distintos estratos del canopeo durante el mes de diciembre. Adaptado de Frasinelli (28).

Estratos del canopeo (cm)	Hoja verde		Tallo verde	
	DIVMS (%)	PB (%)	DIVMS (%)	PB (%)
+ de 30	74 a	26 a	67 a	14 a
20 a 30	69 b	27 a	58 b	9 b
10 a 20	69 b	28 a	54 b	9 b
0 a 10	68 b	28 a	41 c	8 b

Referencias: DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca; PB = proteína bruta

**CUADRO 5.** Carga animal, eficiencia de cosecha y ganancias individuales de peso en un planteo pastoril permanente sobre pasturas base alfalfa (de otoño a otoño) en la EEA Marcos Juárez INTA. Adaptado de Kloster y col. (43).

Indicador	3,4 cab ha <sup>-1</sup> Media ± sd	4,8 cab ha <sup>-1</sup> Media ± sd	Diferencia (%)	Significación (p<0,05)
Producción MS (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	11685 ± 518	10785 ± 1066	- 9,1	**
Asignación (g MS kg p.v. <sup>-1</sup> )	32,3 ± 0,7	23,4 ± 0,6	- 27,5	**
Eficiencia de cosecha (%)	58,9 ± 5,5	72,4 ± 4,1	+ 22,9	**
Carga (kg ha <sup>-1</sup> )	1024	1364	+ 33,2	**
Peso inicial (kg)	188,3 ± 9,0	188,3 ± 9,0	-	NS
Peso final (kg)	414 ± 13,4	380 ± 7,8	- 8,2	**
AMD (g día <sup>-1</sup> )	609 ± 32,5	520 ± 5,3	- 14,6	**
Productividad (kg HG <sup>-1</sup> )	654 ± 62,4	752 ± 61,5	+ 15,0	**
Venta a 12 m invernada (%)	93,3 ± 2,9	61,7 ± 3,5	- 33,9	**

Referencias: cab = cabezas; p.v. = peso vivo; AMD = aumento medio diario; m = meses; HG= ha ganadera

Resulta evidente que los sistemas con altas cargas permiten optimizar la producción por hectárea, justificando a menudo cierta disminución del desempeño individual. Sin embargo, más allá de ciertos límites, esto conduce a una baja en las ganancias individuales, prolongando la duración de la invernada, lo cual repercute negativamente sobre la productividad y la velocidad de retorno del capital invertido en hacienda (43). Con todo, en el rango de cargas de uso práctico, puede esperarse un razonable grado de compensación entre las ganancias individuales y la productividad por unidad de superficie. Desde luego, el ritmo de ganancias

afectará el momento de venta de los animales, su grado de terminación, la reposición de terneros, etc, cuyas implicancias habrá que analizar para cada empresa y situación en particular.

### **Sistemas de pastoreo particulares. Líderes y seguidores**

Ya se ha analizado cómo las variaciones en la estructura de la cubierta vegetal de las praderas pueden tener gran influencia sobre el comportamiento ingestivo de los animales en pastoreo y, por ende, sobre el consumo y la utilización del forraje (34, 59, 23).

Frasinelli (28) estudió la dieta y la composición morfológica de pasturas de alfalfa con un manejo que simulaba distintas condiciones de estado de la pastura, en un sistema de pastoreo rotativo con cambio semanal de parcela. En primavera avanzada, conforme disminuía la oferta de forraje, se modificaba el comportamiento ingestivo y la dieta, con un rango de variación del consumo de 101 a 61 g de MS kg de peso metabólico<sup>-1</sup>. La respuesta animal, ante una menor disponibilidad de forraje y fundamentalmente un menor contenido de hojas, fue un aumento del tiempo de pastoreo y de la tasa de bocados; sin embargo, debido a la reducción de peso del bocado, el consumo se redujo (Cuadro 6).

Esta respuesta no es una característica exclusiva de la alfalfa ya que también fue observada en leguminosas tropicales (32), y se asemeja al patrón general descrito por Chacón y Stobbs (13) para otras especies. Esto remarca las grandes variaciones en comportamiento ingestivo y consumo que ocurren durante la permanencia del animal en una parcela bajo pastoreo rotativo, a medida que la cosecha avanza hacia los estratos más bajos del canopeo.

En el período primavera-verano, cuando más abundante es la producción de la alfalfa, se impone obtener el mayor beneficio de la utilización de este recurso. Sin embargo, en los sistemas pastoriles puros, el período estival suele ser crítico para sostener altos ritmos de engorde debido -entre otros factores- a la particular arquitectura de la alfalfa, que se expresa con una relación hoja:tallo más adversa aun a partir de la primavera avanzada (85). Para sortear este problema, además de otras prácticas, se han explorado algunas variantes del manejo del pastoreo como el sistema «líderes y seguidores», en la búsqueda de una mejor utilización global de las alfalfas en esta época del año.

El método de pastoreo de líderes y seguidores fue concebido como un intento de particionar, por calidad y/o facilidad de cosecha, la oferta de forraje de una determinada área de pastoreo asignando cada fracción de acuerdo con los requerimientos de las distintas categorías de animales involucradas (6). Dos condiciones deben ser satisfechas para lograr el máximo beneficio de la técnica: a) que las especies, o sus componentes morfológicos, ofrezcan un razonable gradiente de calidad y/o facilidad de cosecha en su perfil vertical; y b) que las categorías de animales en pastoreo tengan diferentes demandas nutricionales. La particular distribución vertical de hojas y tallos de leguminosas erectas tipo alfalfa, que concentran una mayor densidad de

**CUADRO 6.** Efecto de la biomasa aérea de una pastura de alfalfa sobre el consumo y las características de la dieta a fines de primavera con un manejo del pastoreo que simulaba distintas condiciones de la pastura. Adaptado de Frasinelli (28).

Biomasa aérea Kg ha <sup>-1</sup>	Consumo g MS kg <sup>-75</sup>	DIVMS (%)	Hojas (%)	PB (%)
4100	101 a	70 a	72 a	23 a
2900	80 ab	57 b	32 b	16 b
1000	61 b	49 c	19 c	16 b

Referencias: MS = material seco; DIVMS = digestibilidad in vitro de la MS; PB = proteína bruta. Valores seguidos por la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente significativos (p>0,05).

hojas en los estratos superiores (12, 28), satisface plenamente el primer requisito. Por su parte, la utilización de rodeos lecheros en distinta fase de lactancia (1, 14), el pastoreo con animales de distinta edad (60, 25), o aún la utilización de diferentes especies animales (8), son ejemplos de combinaciones que buscan aprovechar eficientemente cada fracción del forraje en oferta, tratando de aumentar la productividad del conjunto.

La utilización de pasturas base alfalfa ofrece algunas oportunidades para aplicar este sistema de pastoreo. En un estudio realizado en la EEA Marcos Juárez durante primavera avanzada y verano, Kloster y col. (44) confrontaron un sistema rotativo convencional (con ocupación de parcela de 6 días), con otro de líderes y seguidores en el que cada grupo ocupaba 3 días cada parcela. En el Cuadro 7 se resumen los resultados obtenidos.

Para categorías con similares requerimientos y con niveles de asignación de forraje como los empleados en el Cuadro 7, resulta importante lograr que el porcentaje de remoción parcial de los líderes se ubique en valores cercanos al 50% de la disponibilidad inicial, a fin de evitar restricciones importantes en el consumo de los animales seguidores (6). Precisamente, el manejo de la asignación forrajera del rodeo de seguidores para evitar una subalimentación, es una de las dificultades a resolver en la aplicación rutinaria de este sistema (14). En ese sentido, Redmon (60) sugirió, como límite práctico, cosechar con los animales líderes sólo un tercio del forraje inicialmente ofertado. De todos modos, los valores que se definan no pueden independizarse de la carga que se fije para los animales seguidores.

De la información contenida en el Cuadro 7 se advierte que la mayor asignación relativa de forraje al grupo de líderes, algo inherente a este sistema de pastoreo, incrementó su consumo de MS respecto del registrado en los seguidores. El menor consumo relativo de estos últimos pudo responder a la inferior calidad del forraje remanente o a dificultades de accesibilidad y/o cosecha en comparación con la situación de líderes. Resulta conocido que, cuando la disponibilidad de forraje ofrece limitaciones, las características estructurales de la pastura anteponen una

regulación no nutricional al consumo de forraje, siendo el comportamiento ingestivo el nexo entre las características de la pastura y el consumo (59).

La diferencia en ganancia de peso entre líderes y seguidores mostró que la técnica permitió manipular las ganancias de los primeros de forma tal que aventajaron al lote rotativo convencional, aunque a expensas del deterioro de las ganancias individuales del grupo de seguidores. No obstante, la

**CUADRO 7.** Peso vivo inicial, peso vivo final, ganancia diaria de peso y producción de carne por hectárea en dos sistemas de pastoreo: rotativo convencional (6 días de ocupación) y «líderes y seguidores» (3 días de ocupación de cada grupo). Adaptado de Kloster y col. (44).

Variable	Sistema convencional	Sistema líderes y seguidores	
		Líderes	Seguidores
Disponibilidad (kg MS ha <sup>-1</sup> )	1448 a	1447 a	855 b
Remanente (kg MS ha <sup>-1</sup> )	545 b	855 a	467 b
Asignación (g MS kg p.v. <sup>-1</sup> )	24,5 b	48,5 a	29,3 b
Relación hoja:tallo (oferta)	1,25 a	1,22 a	0,41 b
Eficiencia cosecha (%)	62,7 a	40,7 b	45,9 b
Consumo (g MS kg p.v. <sup>-1</sup> )	15,3 b	19,9 a	13,4 b
Peso final (Kg. p.v.)	408 b	424 a	397 b
AMD (g día <sup>-1</sup> )	635 b	784 a	533 c
Productividad (kg carne ha <sup>-1</sup> )	295 ab (*)	364 a	248 b

Referencias: MS = materia seca; p.v. = peso vivo; AMD = aumento medio diario. Letras diferentes entre columnas dentro de una fila indican diferencias significativas (p<0.05); en (\*) p<0.10.

ganancia de peso amalgamada de los grupos líderes y seguidores no se diferenció del sistema convencional, al igual que la productividad por unidad de superficie.

Las implicancias productivas de estas evaluaciones podrían resumirse en que, para categorías de requerimientos poco diferenciados, la técnica de «líderes y seguidores» puede ser de utilidad para privilegiar las ganancias individuales de una parte del rodeo, asumiendo las dificultades del grupo postergado para lograr un desempeño similar al que obtendría la totalidad de los animales bajo la alternativa de un pastoreo conjunto. La utilización de categorías con marcadas diferencias de requerimientos (por ejemplo: novillos y vacas de cría) contribuiría a acrecentar los beneficios esperados. Con todo, la clásica división del rodeo de invernada en tropas «cabeza» y «cola» continúa siendo el espacio natural de aplicación de esta técnica, que siempre debiera contemplar un detenido análisis de los reales beneficios de su inserción en el manejo global del planteo productivo.

## Producción y utilización de alfalfa asociada con gramíneas

La implantación de pasturas mixtas tiene virtudes de tipo agronómico que las tornan muy beneficiosas para el sistema de producción en su conjunto. El aporte de nitrógeno que realizan las leguminosas a través de la fijación biológica permite un significativo ahorro de fertilizantes. Por su parte, las gramíneas hacen una importante contribución de materia orgánica y mejoran la estabilidad estructural del suelo a través de su sistema radicular en forma de cabellera (66, 69, 71, 87).

La baja producción invernal y la concentración primavero-estival de la producción de la alfalfa (11, 78, 86) son los primeros escollos a remover mediante la planificación e instrumentación de cadenas forrajeras de alta productividad y estabilidad (78). La articulación de planteos ganaderos eficientes, en los cuales los requerimientos nutricionales coincidan en oportunidad y magnitud con la oferta de las pasturas, determina la necesidad de recurrir a distintas alternativas tecnológicas para sortear el bache invernal de menor crecimiento de las praderas perennes (45).

Una de las opciones para mejorar la curva de la oferta de forraje de las pasturas de alfalfa es la incorporación de gramíneas perennes templadas (78, 71, 45). La utilización de una o más de estas especies asociadas a la alfalfa posiblemente no signifique una gran contribución a la producción total de materia seca con respecto al cultivo puro, pero constituye una alternativa para mejorar la oferta invernal de forraje (66, 69, 45). El manejo del pastoreo de estas pasturas mixtas debe orientarse al logro de una alta producción y calidad de forraje, además del mantenimiento del equilibrio de la mezcla a través del tiempo (15, 71).

La forma de crecimiento y los requerimientos fisiológicos de las especies componentes de una mezcla de leguminosas y gramíneas suelen ser muy distintos. En festuca (*Festuca arundinacea* Schreber), pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) y otras gramíneas, el crecimiento está asociado a las reservas almacenadas en las raíces, rizomas y base de los macollos, y al área foliar remanente (46, 81). Un crecimiento vigoroso generalmente ocurre con altos niveles de reservas y remanentes de cierta cuantía. Pastoreos severos de las gramíneas mencionadas producen generalmente rebrotes lentos, debilitamiento general y pérdida de macollos (38, 46, 66). Un manejo inadecuado puede hacer desaparecer alguna de las especies componentes de la mezcla (65). Por otro lado, las condiciones ambientales pueden hacer que el manejo óptimo de la mezcla difiera en cada estación de crecimiento (71, 87).

La información disponible muestra variaciones en el comportamiento productivo de la alfalfa pura frente a las asociaciones con otras forrajeras. Las mezclas con gramíneas tem-



pladas pueden manifestar o no incrementos en la producción de materia seca en comparación con la alfalfa. En aquellos casos favorables, el más típico incremento fue de 10-15% para la mezcla (15). Los rendimientos obtenidos con alfalfas puras *versus* mezclas simples con festuca alta, pasto ovillo o agropiro alargado (*Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv.) en Anguil, General Villegas y Marcos Juárez, variaron entre 86 % y 104 % en relación con el rendimiento de la alfalfa pura, considerada como base 100 (66).

En el área central de Santa Fe, Bruno y col. (10) evaluaron bajo pastoreo la producción de mezclas simples de una alfalfa de reposo intermedio con festuca alta, cebadilla criolla (*Bromus catharticus* Vahl.) y pasto ovillo. Los resultados de 4 años indicaron que la mezcla con festuca alta produjo 21 % más que la alfalfa pura, siendo esta diferencia mucho menor cuando el acompañante fue el pasto ovillo. Las diferencias entre las mezclas y la alfalfa fueron importantes en el tercer año. Además, existieron diferencias entre las mezclas y el cultivo respecto de las estaciones del año: en otoño e invierno las pasturas mixtas superaron a la alfalfa pura en 23,2 y 38,4%, respectivamente; en verano, la diferencia se redujo a sólo 4,7% (Cuadro 8).

Otro aspecto a considerar en la comparación de las mezclas y la alfalfa pura es la evolución de las malezas. Si bien los resultados mostraron variaciones según la gramínea acompañante y la estación del año, en general las pasturas mixtas tendieron a controlar mejor la invasión de malezas que la alfalfa pura (Cuadro 9).

**CUADRO 8.** Producción de materia seca (MS) bajo pastoreo de una alfalfa de reposo invernal intermedio en cultivo puro o en mezclas simples con gramíneas templadas. Adaptado de Bruno y col. (10).

Tipo de pastura	Períodos				
	1982/83	1983/84	1984/85	1985/86	Total
	kg MS ha <sup>-1</sup>				
Alfalfa pura	11.519	11.080	4.844	4.862	32.305
Alfalfa + cebadilla	11.837	12.550	6.557	7.031	37.975
Alfalfa + festuca alta	12.406	12.904	6.358	6.780	38.448
Alfalfa + pasto ovillo	12.239	13.097	5.305	5.036	35.677

Entre las gramíneas perennes comúnmente usadas en asociación con la alfalfa, la festuca alta fue la especie de mejor adaptación en un trabajo conducido en la EEA Manfredi (66), mostrando mayor índice de área foliar, más alto número de macollos y mayor tasa de producción de macollos que el resto de las gramíneas incluidas en el estudio. En el mismo trabajo, las alfalfas de reposo invernal intermedio ofrecieron mejores condiciones de crecimiento para las gramíneas que las alfalfas sin reposo. Las mayores tasas de muerte de hojas y macollos de las gramíneas se produjeron a principios del verano, por lo cual se concluyó que el manejo en esta época debe ser muy cuidadoso para no perjudicarlas.

El incremento del uso de variedades sin latencia registrado en los ambientes más húmedos de la Región Pampeana Norte, dificulta aún más el mantenimiento de mezclas relativamente estables debido a la alta frecuencia de utilización de estos cultivares, lo cual coloca a las gramíneas en situación de competencia cada vez más desventajosa.

La producción de las mezclas y el aporte de las gramíneas dependerán de las condiciones de suelo y clima de la región, del cultivar de alfalfa, de la especie y del cultivar de gramínea utilizado, del sistema y la densidad de siembra, y del manejo impuesto (66). Por otra parte, las gramíneas permiten alargar la vida útil de la pastura cuando se registran condiciones desfavorables para la persistencia de la alfalfa (71) y reducen los riesgos de meteorismo (66,

58), un aporte particularmente importante para los sistemas de producción más extensivos.

## Integración del manejo de la alfalfa al sistema de producción

Como ya se ha destacado, el manejo juega un rol fundamental en los resultados

obtenidos respecto de la utilización de pasturas base alfalfa. En condiciones ideales, un buen manejo debiera asegurar la persistencia de una pastura de buena producción, la cosecha de una alta proporción de pasto por parte del animal, y un razonable nivel de consumo voluntario. Todo eso debería traducirse en buenas ganancias de peso individuales y altos valores de producción de carne por unidad de superficie.

El patrón de la curva de crecimiento de la alfalfa está determinado por las condiciones ecológicas (suelo, humedad y temperatura) de cada zona. El sitio geográfico impone las principales limitantes condicionando incluso la expresión del grado de reposo invernal que genéticamente posea cada cultivar. En los ambientes templado-húmedos, más favorables, el crecimiento suele presentar dos picos de producción: uno en primavera y otro en otoño. Por el contrario, en zonas con más limitantes hídricas o térmicas, el crecimiento de la alfalfa está prácticamente concentrado en un período de 4 a 5 meses, donde se registra más del 60-65 % de la producción total anual del cultivo.

En la planificación del sistema de producción resulta indispensable conocer la distribución de la oferta de forraje a lo largo del año. De esta forma se pueden diseñar planteos ganaderos que copien de la mejor manera posible la curva de oferta forrajera. Las variaciones estacionales de producción en pasturas base alfalfa son de tal magnitud que solo se podría realizar un total aprovechamiento del forraje producido mediante el uso de un esquema de carga animal variable. Esto resultaría no sólo impráctico sino también poco factible de implementar en explotaciones comerciales, dado que sólo dentro de ciertos límites se puede variar la carga o destinar el excedente de forraje para la confección de reservas.

Altas eficiencias de cosecha en primavera sólo se logran con cargas superiores a la receptividad invernal de las pasturas perennes. Para ello, en un sistema de producción real, con las ya mencionadas restricciones para modificar la carga, lo aconsejable sería instrumentar una estrategia de alimentación tal que permita sortear el invierno con una carga relativamente alta de animales de bajos requerimientos, a fin de contar en primavera-verano con las bocas suficientes para cosechar eficiente y oportunamente todo el pasto producido en esta época del año (45).

Desde 1971 funciona en INTA una red nacional de evaluación bajo corte de cultivares de alfalfa que abarca un amplio rango de suelos y climas. La misma ofrece información acerca de la estabilidad del comportamiento productivo y sanitario de las distintas variedades, así como valores de productividad potencial de MS en cada zona (75). Esta información es de fundamental utilidad para la elección de los materiales a sembrar en una determinada área.

**CUADRO 9.** Composición botánica (% de MS) de la biomasa aérea cosechada bajo pastoreo durante dos estaciones del año en pasturas de alfalfa pura y consociada con gramíneas templadas. Adaptado de Bruno y col. (10).

Tipo de pastura	Época	Composición porcentual		
		Alfalfa	Gramíneas	Malezas
Alfalfa pura	Otoño	65,1	-	34,9
	Primavera	86,4	-	13,6
Alfalfa + cebadilla criolla	Otoño	50,9	33,6	15,5
	Primavera	56,2	41,2	2,6
Alfalfa + festuca alta	Otoño	44,9	47,5	7,6
	Primavera	71,2	26,4	2,4

Además, permite disponer de estimaciones acerca de las producciones medias por estación y de la variación del intervalo entre cortes para las distintas estaciones, variedades y años en cada localidad. Para una visión más detallada del valor de esta red de evaluación, se sugiere consultar el Capítulo 7.

El desglose de la información proporcionada por esos ensayos de evaluación reafirma la marcada estacionalidad productiva de la alfalfa, cuyas tasas de crecimiento pueden ser inferiores a 10 kg de MS por  $\text{ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  en el invierno, o superiores a 90-100 kg de MS  $\text{ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  en primavera. Esta asimetría en la distribución estacional de la producción de MS constituye uno de los mayores desafíos para el manejo de la carga en un sistema productivo que busca optimizar, bajo pastoreo, la utilización de una alta proporción del forraje producido.

En este sentido, Bruno (11) y Zaniboni y Dillon, (86), comparando cultivares de distinto grado de reposo invernal, no encontraron diferencias significativas en producción total de materia seca entre grupos de latencia pero sí en tasa de crecimiento diario ( $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ). Esto quiere decir que entre grupos de reposo invernal pueden alcanzarse producciones semejantes pero con diferente número de cortes anuales, lo que se traduce en distintos patrones de distribución de la producción. En otoño/invierno, los cultivares sin latencia presentaron tasas de crecimiento de aproximadamente 10  $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  superiores a los de latencia intermedia; por su parte, estos últimos produjeron en primavera/verano entre 10 y 20  $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  más que los primeros (Figura 4). Este comportamiento genera curvas de producción con una distribución algo más equilibrada que la de los ecotipos pampeanos, de mayor reposo invernal, lo cual facilita el manejo de la carga animal (86).

Como ya se mencionó, la eficiencia de utilización de pasturas base alfalfa mejora con altos índices de cosecha, para lo cual la carga animal constituye una importante herramienta de manejo. No obstante, en el proceso global de transformación del forraje en carne, tampoco se debe perder de vista la eficiencia de conversión del forraje consumido.

En condiciones de pastoreo, la respuesta animal está determinada por la cantidad de nutrientes cosechados desde la pastura (58). El valor nutritivo es uno de los principales factores de la pastura que afectan el consumo voluntario y, a través de él, la respuesta animal (58, 54). En esto incide negativamente el normal incremento de la proporción de tallos con respecto a las hojas conforme avanza el estado de madurez (64). En el mismo contexto, aumenta la proporción de lignina de la pared celular y decrece el contenido proteico, reduciéndose así la digestibilidad y el consumo.

La lignina no sólo es indigestible *per se* sino que también baja la digestibilidad de los compuestos que con ella se combinan. Habitualmente se acepta que la digestibilidad del forraje decrece alrededor del 10 % por cada unidad de incremento en el porcentaje de lignina.

El proceso de pérdida de calidad que ocurre en cada ciclo de crecimiento es variable en magnitud según la época del año, el grado de latencia del cultivar y la edad del cultivo. Durante primavera-verano, cuando la tasa de crecimiento es de 70 a 90  $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , en un período de 30 a 35 días se pueden acumular más de 2500  $\text{kg de MS ha}^{-1}$  y el cultivo puede alcanzar los 60-70 cm de altura; en estas condiciones, la relación hoja:tallo es más alta que en el otoño (Figura 5), cuando el cultivo sólo alcanza los 30-40 cm de altura y tiene una tasa de crecimiento de 40  $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . A partir de la primavera avanzada, la merma de calidad es muy gravitante por cada día de retraso en la cosecha desde el estado vegetativo hasta la primera floración.

Además de la presión de pastoreo o la asignación de forraje por animal, debe establecerse un esquema que permita, para cada estación climática, la utilización adecuada de los estados de madurez a fin de favorecer la producción de forraje de calidad y atenuar las clásicas fluctuaciones estacionales.

Está ampliamente aceptado que la utilización de la alfalfa al 10% de floración resulta el mejor momento para equilibrar alta producción, buena persistencia y aceptable calidad (72, 79). Sin embargo, varios autores

(3, 50, 58) que estudiaron la longitud del período entre cortes o pastoreos, han concluido que el momento óptimo de uso de la alfalfa -para compatibilizar producción, persistencia y calidad- es el estado prebotón floral durante la primavera-verano y cuando los rebrotes basales alcanzan los 5 cm en el otoño (66, 69). También ha sido propuesto como meta que durante la primavera-verano la dieta ofrecida debería tener valores de digestibilidad cercanos al 70%, lo que conduciría a niveles razonables de incremento calórico (61), a buenos valores de concentración energética en el alimento y a un buen balance energético-proteico (54).

En la práctica, son relativamente bajas las posibilidades de compatibilizar la eficiencia de cosecha de nutrientes con la planificación de los primeros pastoreos de la alfalfa en primavera (fase exponencial de la curva de crecimiento). Una manera de atenuar el problema podría ser la anticipación programada de cortes para henificación, pero cambiando su rol de

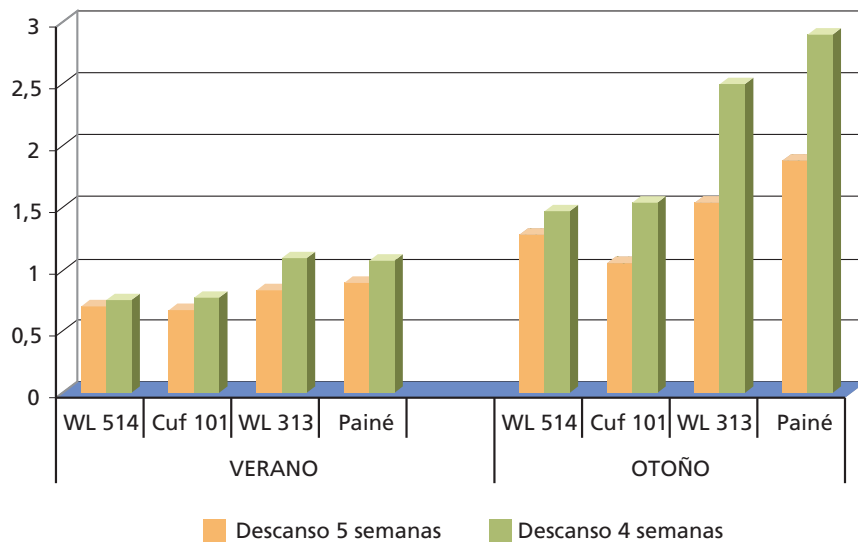


FIGURA 5 – Relación hoja:tallo durante verano y otoño en alfalfas de distintos grados de reposo invernal sometidas a dos frecuencias de corte. Zaniboni (85)

kg MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>

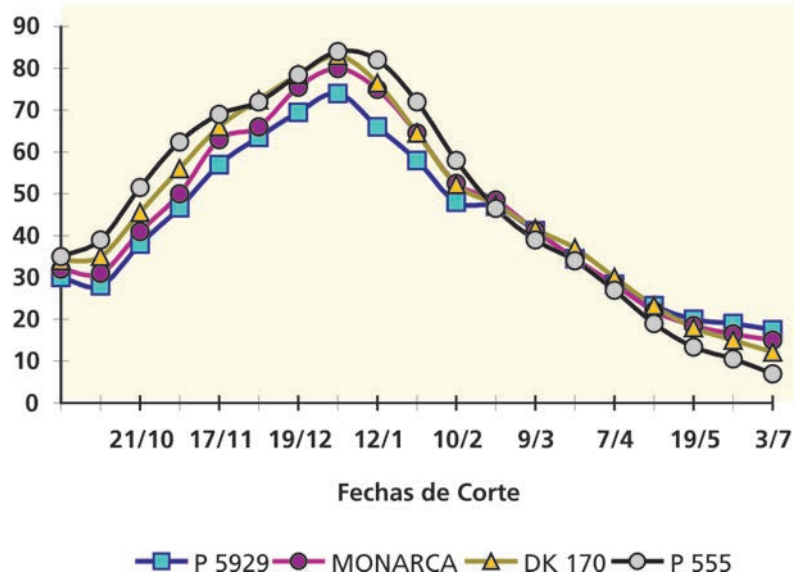


FIGURA 4: Tasas de crecimiento diario a lo largo de la temporada de alfalfas de distinto grado de reposo invernal. Adaptado de Zaniboni y Dillon (86).

sos para cada estación y tratando de que la cosecha de forraje no supere el crecimiento diario.

Las recomendaciones de la EEA Manfredi concuerdan en que una alta carga en primavera mejora la eficiencia de uso del forraje, pero cuando ésta última supera el 70-75% se resienten las ganancias individuales. Un elemento adicional del manejo en primavera avanzada y verano, cuando los remanentes de forraje en las parcelas son relativamente importantes, es el «desbrozado» mecánico de las pasturas. En realidad, la presencia de altos residuos post-pastoreo en esta época transfieren poco forraje valioso al pastoreo siguiente y perjudican notoriamente la cantidad y calidad del rebrote (48).

El siguiente ejemplo ilustra las ventajas de disponer de datos propios o zonales para el cálculo de la receptividad de una pastura base alfalfa. Supone un caso hipotético para la zona NO de la provincia de Buenos Aires, con muy buenas pasturas de 1 a 4,5 años, en suelos de buena aptitud y con producciones promedio del orden de 15 t de MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Se asumen metas definidas de productividad individual (550-600 g día<sup>-1</sup> de AMD), utilización de las pasturas en estados fenológicos apropiados, y eficiencias de cosecha próximas al 80 % en invierno y al 65-70 % en primavera / verano). Se propone que la carga animal sea la consecuencia de la tasa de crecimiento del forraje en las distintas estaciones, con una asignación de forraje prefijada en cada época del año en función de las metas productivas y los requerimientos de la alfalfa. Es decir:

$$\text{Carga animal (kg p.v.ha}^{-1}\text{)} = \text{Tasa media de crecimiento (kg ha}^{-1}\text{)} * 100 / \text{asignación de forraje (\% de p.v.)}$$

En ese contexto, se estima que:

- De marzo a junio (120 días), con un máximo de 3 pastoreos y con descansos de 35-40 días:

$$\text{Carga animal} = 30 \text{ kg ha}^{-1} * 100 / 3,25 = 923 \text{ kg p.v. ha}^{-1}$$

- De julio a septiembre (70-80 días), con normalmente un solo pastoreo y con un descanso de 60-70 días:

$$\text{Carga animal} = 15 \text{ kg ha}^{-1} * 100 / 2,5 = 600 \text{ kg p.v. ha}^{-1}$$

- De septiembre a febrero (160-170 días), con 5 pastoreos y con algunos descansos de 28 días:

$$\text{Carga animal} = 60 \text{ kg ha}^{-1} * 100 / 3,75 = 1600 \text{ kg p.v.ha}^{-1}.$$

En primavera avanzada y verano, asumiendo la dificultad de cosecha en esta época y la necesidad de transferencia de forraje, y para evitar riesgos de bajas ganancias individuales (86), se podría trabajar con una carga de 1200-1300 kg p.v. ha<sup>-1</sup>. En este caso, quedaría disponible una cantidad suficiente de forraje excedente para confeccionar con holgura las reservas de heno que demandaría el sistema.

Por lo tanto, la cuantificación del crecimiento y de la calidad del forraje serían elementos fundamentales para diseñar y ajustar la estrategia de utilización de las pasturas base alfalfa. Por un lado, la tasa de crecimiento debería ser un insumo básico en la determinación de la carga a utilizar; por el otro, el seguimiento de la calidad debería constituir la guía para el manejo cotidiano de la presión de pastoreo, de los remanentes, y de la necesidad de suplementación.



A nivel del sistema, la eficiencia de producción tal vez no dependa tan fuertemente de grandes rediseños de los planteos ganaderos o de las cargas que hoy ya se manejan, sino más bien de ajustes a escala de potrero. En este sentido, el personal a cargo de las pasturas y los animales podría protagonizar un impacto positivo, en la medida que se lo capacite y se lo dote de herramientas simples y sólidas para realizar la conducción y seguimiento del pastoreo.

Por último, si bien las pasturas base alfalfa pueden representar más del 70 % de la superficie ganadera, para su correcto aprovechamiento resulta igualmente importante la eficiencia con que se maneja el sistema en su conjunto. Esto supone la adecuación de los planteos ganaderos, el diseño de cadenas de pastoreo, el uso de reservas y suplementación y el seguimiento cotidiano del equilibrio dieta / requerimientos.

## Consideraciones finales

Algunos aspectos particulares del crecimiento de la alfalfa requieren especial consideración, pues de ello depende la productividad del cultivo. La morfología, las características fisiológicas y el grado de latencia invernal de cada cultivar condicionan el sistema de utilización, cuyo dinamismo bajo pastoreo requiere, a su vez, ajustes permanentes.

La alfalfa presenta ciclos de crecimiento bien definidos, pero íntimamente relacionados con las condiciones climáticas. La madurez fisiológica, aun con sus limitaciones, sería el criterio ideal para determinar el momento apropiado de uso. La aparición de rebrotes de corona o el número de días entre cortes o pastoreos son indicadores que, tomando ciertos recaudos, también pueden ser utilizados. La mejor estrategia consiste en aplicar una combinación de criterios que permita tener un mejor control sobre el volumen y la calidad del forraje producido.

Un eficiente aprovechamiento de las pasturas base alfalfa debe centrar el esfuerzo en lograr una alta producción de forraje en cantidad y calidad, una buena distribución a lo largo del año, y un manejo que comprometa de la menor manera posible su persistencia. El corolario de un buen aprovechamiento, en todos los casos, debiera traducirse en una alta productividad de carne por unidad de superficie.

La compatibilización de buenos ritmos de ganancias individuales con una alta productividad por unidad de superficie constituye el eje de los planteos de intensificación de las invernadas pastoriles. Por lo tanto, para llevar a cabo invernadas cortas sobre pasturas base alfalfa, se recomienda operar con valores medios de eficiencia de cosecha no superiores al 70 %, permitiendo así mantener ganancias individuales promedio de 500-600 g día<sup>-1</sup>. Para ello, resulta fundamental realizar un ajustado manejo del pastoreo en las distintas épocas del año, con todo lo que ello implica en lo relativo a carga, intensidad y frecuencia de defoliación, categoría de animales, etc. Este proceso, junto con la correcta utilización de los excedentes forrajeros como reservas y un uso estratégico mínimo de concentrados, permitirá aspirar en las zonas de mayor potencial forrajero a invernadas con una productividad de 550 a 800 kg de carne por hectárea ganadera.

## Bibliografía

1. ARCHIBALD, K.A.E., R. C. CAMPLING and W. HOLMES. 1975. Milk production and herbage intake of dairy cows kept on a leader and follower grazing system. *Anim.Prod.* 21:147-156.
2. BARIGGI, C., A. CRAGNAZ, R. ROSSANIGO, M., ZANELLI, R. HERNÁNDEZ y N. ROMERO. 1979. Estudio de la persistencia y producción de la alfalfa sola y consociada con gramíneas bajo tres sistemas de siembra. INTA. Proyecto PNUD-FAO-INTA Arg. 75/006. Doc. de Trabajo N° 6, 66 p.

3. BARIGGI, C. y N. ROMERO. 1986. Crecimiento de la alfalfa y utilización e la región pampeana. *In: Investigación, tecnología y producción de alfalfa. C. Bariggi, C.D. Itria, V.L. Marble y J.M. Brun (eds.)*. Colección Científica del INTA, Buenos Aires, Cap. V, pp 119-159.
4. BARKER, J.M., D. D. BUSKIRK, H. D. RITCHIE, S. R. RUST, R. H. LEEP, and D. J. BARCLAY. 1999. Intensive grazing management of smooth brome grass with or without alfalfa or birdsfoot trefoil. Heifers performance and sward characteristics. *The Professional Anim. Scientist*. Vol 15:130-135.
5. BERTELSEN, B.S., D. B. FAULKNER, D. D. BUSKIRK, and J. W. CASTREE. 1993. Beef cattle performance and forage characteristics of continuous, 6-paddock, and 11-paddock grazing systems. *J. Anim. Sci.* 71: 1381-1389.
6. BLASER, R. E. 1982. Integrated pasture and animal management. *Tropical Grassland*. 16:19-23.
7. BLASER, R. E., R. C. HAMMES, J. P. FONTENOT, H. T. BRYANT, C. E. POLAN, D. D. WOLF, F. S. Mc CLAUGERHERTY, R. G. KLINE, and J. S. MOORE. 1986. Forage-Animal Management Systems. Virginia Agric. Exp. Station. Virginia Polytechnic Institute and State University. Bulletin 86-7, 91p.
8. BOSWELL, C.C. and L. J. CRANSHAW. 1978. Mixed grazing of cattle and sheep. *Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod.* 38: 116-120.
9. BROWN, R. H., R. B. COOPER and R. E. BLASER. 1966. Effect of leaf age on efficiency. *Crop Sci.* 6: 206-209.
10. BRUNO, O., L. A. ROMERO, J. L. FOSSATI y O. R. QUAINO. 1987. Evaluación de mezclas simples de alfalfa y gramíneas bajo pastoreo. *In: Producción de pasturas para engorde y producción de leche. IICA-PROCISUR, Montevideo (Uruguay). Diálogo* 19, pp 121-125.
11. BRUNO, O. 1993. Distribución de la producción y valor nutritivo de la alfalfa. *In: Resúmenes IV Jornadas Nacionales de Alfalfa y I Simposio Nacional de Alfalfa. Villa María, Córdoba, Octubre 20-22, p.22.*
12. BUXTON, D.R., J. S. HORNSTEIN, W. P. WEDIN, and G. C. MARTEN. 1985. Forage quality in stratified canopies of alfalfa, birdsfoot trefoil, and red clover. *Crop Sci.* 5: 273-279.
13. CHACON, E. and H. STOBBS. 1976. Influence of progressive defoliation of a grass sward on the eating behavior of cattle. *Aust. J. Agric. Res.* 27: 709-727.
14. CAMPLING, R.C. 1975. Systems for grazing management for dairy cows. *Occ. Symp. N° 8. Br. Grassld. Soc.* Pp 113-117.
15. CHAMBLEE, D.S. and M. COLLINS. 1988. Relationships with other species in a mixture. *In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill (Jr) (ed) Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA-CSSA-SSSA Agronomy Series 29. Madison, Wisconsin. USA, pp. 439-461.*
16. COMERON, E. A., L. A. ROMERO y O. A. BRUNO. 1997. Efecto del nivel de carga animal sobre la pastura de alfalfa en un sistema de pastoreo rotativo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 17 (Sup1): 82.
17. COSGROVE, G. P. and J. G. H. WHITE. 1990. Lucerne grazing management. 1. Effect of grazing duration on herbage accumulation. *N. Z. J. Agric. Res.* 33: 615-620.
18. COUNCE, P. A., J. H. BOUTON and R. H. BROWN. 1984. Screening and characterising alfalfa for persistence under mowing and continuous grazing. *Crop. Sci.* 24: 282-285.
19. CRAGNAZ, A. G. 1988. Investigaciones y progresos en el manejo de la alfalfa. I. Efecto del período de pastoreo y descanso sobre la productividad (Conferencia). *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol 8: 501-516.
20. CRAGNAZ, A. G. y R. O. ROSSANIGO. 1985. Informe de progresos en producción de pasturas de alfalfa. Período 80/85. Documento interno. EEA INTA Marcos Juárez.
21. CREA. 1995. De pasto a carne y leche. *Revista CREA Año XXX, N° 178: 60-61.*
22. DOUGHERTY, C. T., N. W. BRADLEY, P. L. CORNELIUS and L. M. LAURIAULT. 1987. Herbage intake rates of beef cattle grazing alfalfa. *Agron. J.* 79: 1003-1008.
23. DOUGHERTY, C. T., M. COLLINS, N. W. BRADLEY, P. L. CORNELIUS and L. M. LAURIAULT, 1990. Moderation of ingestive behaviour of beef cattle by grazing-induced changes in lucerne swards. *Grass and Forage Sci.* 45: 135-142.
24. DOUGLAS, J. A. 1986. The production and utilisation of lucerne in New Zealand. *Grass and Forage Sci.* 41: 81-128.
25. DRENNAN, M. J. 1999. Development of a Competitive Suckler Beef Production System. Irish Agriculture and Food Development Authority. Grange Research Centre, Dunsany, Co. Meath, 21p.
26. ERNST, P., Y. L. P. LE DU and L. CARTIER. 1980. Animal and sward production under rotational and continuous grazing management. A critical appraisal. *In: The rol of nitrogen in intensive grasslands production. W.H. Prins and G.H. Arnold (Eds). Pudoc Wageningen, Netherlands, pp 119-126.*
27. ESCUDER, C. J. 1996. Manejo de la defoliación. Efecto de la carga y métodos de pastoreo. *In: C. A. Cangiano (ed) Producción animal en pastoreo. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. Balcarce, Argentina, pp 65-83.*

28. FRASINELLI, C. A. 1994. Influencia de algunas características de pasturas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sobre el comportamiento ingestivo de novillos en pastoreo. Tesis de Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP, Argentina, 125 p.
29. GONELLA, C. A. 1992. Producción de carne sobre pasturas perennes en el Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Publicación Técnica N° 10. EEA INTA Gral. Villegas, 17 p.
30. HALL, M.H. 1994. Grazing alfalfa in Pennsylvania. Agronomy Facts 42. College of Agricultural Sciences. The Pennsylvania State University, 2 p.
31. HEITSCHMIDT, R.K., S. L. DOWHOWER and J. W. WALKER. 1987. 14- vs 42- paddockrotational grazing. Aboveground biomass dynamics, forage production and harvest efficiency. J. Range Management 40: 216-223.
32. HENDRICKSEN, R. and D. J. MINSON. 1980. The feed intake and grazing behaviour of cattle grazing a crop of *Lablab purpureus* cv. Rongai. J. Agric. Sci. (Camb.) 95: 547-554.
33. HERNANDEZ, O. A. 1969. Efecto del descanso otoñal y primaveral de alfalfares sobre la producción animal y longevidad del cultivo. Sus relaciones con el control del pasto puna (*Stipa brachichaeta* Godr.). RIA - Serie 2: Biología y Producción Vegetal. Vol 6 (25): 383-405.
34. HODGSON, J. 1982. Variations in the surface characteristics of the sward and the shortterm herbage intake by calves and lambs. Grass and Forage Sci. 36: 49-57.
35. HODGSON, J. 1983. La relación entre la estructura de las praderas y la utilización de plantas forrajeras tropicales. In: Paladines y Lascano (ed) Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas. Metodología de Evaluación.. CIAT, pp 33-47.
36. HODKINGSON, A. 1974. Influence of partial defoliation on photosynthesis, photorespiration, and transpiration by lucerne leaves at different ages. Austr. J. Pl. Phys. 1: 561-578.
37. INTA-SAGPyA. 1998. Guía Práctica de Ganadería Vacuna. Región Pampeana. EEA General Villegas, 56 p.
38. JONES, E. L. 1983. The production and persistency of different grass species cut at different heights. Grass and Forage Sci. 38: 79-87.
39. JONES, R. J. and R. L. SANDLAND. 1974. Relations between animal gain and stocking rate. Derivation of the relation from the results of grazing trials. J. Agric. Sci. (Camb.) 83: 335-342.
40. JUNG, H.G., R. W. RICE and I. J. KOONG. 1985. Comparison of heifer weight gains and forage quality for continuous and short duration grazing systems. J. Range Manage. 38:144-148.
41. KLOSTER, A. M., N. J. LATIMORI y M. A. AMIGONE. 2000. Evaluación de dos sistemas de pastoreo rotativo a dos niveles de asignación de forraje en una pastura de alfalfa y gramíneas. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol 20 (3-4): 1-12.
42. KLOSTER, A. M. y O. E. GUDELJ. 2000. Indicadores físicos del suelo en una pastura de alfalfa y gramíneas bajo dos sistemas rotativos y dos presiones de pastoreo. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol 20 (Supl.1): 228-229.
43. KLOSTER, A. M., N. A. LATIMORI y M. A. AMIGONE. 2003. Efecto del sistema de pastoreo y de la carga sobre la productividad de carne en una pastura base alfalfa. Informe Técnico N° 129, EEA Marcos Juárez, 14 p.
44. KLOSTER, A. M., N. J. LATIMORI y M. A. AMIGONE. 2003. Comparación de sistemas de pastoreo (convencional vs líderes y seguidores) en una pastura de alfalfa y gramíneas. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol 23 (1): 25-32.
45. KLOSTER, A. M., N. J. LATIMORI, M. A. AMIGONE y C. GHIDA DAZA. 2003. Invernada de alta producción sobre pasturas base alfalfa. In: 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 VII, pp. 226-247.
46. KORTE, C. J. and W. HARRIS. 1987. Effects of grazing and cutting. In: R. W. Snaydon (ed) Managed Grasslands. B. Analytical Studies. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands, pp 71-79.
47. KUGLER, N. M. y R. A. BARBAROSSA. 1995. Engorde de vaquillonas en una pastura de alfalfa y agropiro con dos niveles de uso. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol 15: (1): 59-62.
48. LEACH, G. J. 1979. Regrowth characteristics of lucerne under different systems of grazing management. Aust. J. Agric. Res. 30: 445-465.
49. LEACH, G. J. 1983. Influence of rest interval, grazing duration and mowing on the growth, mineral content and utilization of a lucerne pasture in a subtropical environment. J. Agric. Sci. (Camb). 101: 169-183.
50. MADDALONI, J. y S. SOLA. 1985. Frecuencia de corte en alfalfa. Informe Técnico N° 206, ISSN 0325-1799. EEA INTA Pergamino.

51. MCKINNEY, G. T. 1974. Management of lucerne for grazing of the southern tablelands of New South Wales. *Aust. Exp. Agric. Anim. Husb.* 14: 726-734.
52. McMEEKAN, C. P. 1960. Grazing management. *In: Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Grasslands Congress*, pp 21-27.
53. McMEEKAN, C. P. and M. J. WALSHE. 1963. The inter-relationships of grazing method and stocking rate in the efficiency of pasture utilisation by dairy cattle. *J. Agric. Res. (Camb.)* 61: 147-166.
54. MARTEN, G. C., D. R. BUXTON and R. F. BARNES. 1988. Feeding Value (Forage Quality). *In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill (Jr) (ed) Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA-CSSA-SSSA Agronomy Series 29. Madison, Wisconsin. USA*, pp. 463-491.
55. MOTT, G. O. 1960. Grazing pressure and the measurement of pasture production. *In: Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Grasslands Congress*, pp 606-611.
56. POPP, J. D., W. P. Mc CAUGHEY and R. D. H. COHEN. 1997a. Effect of grazing system, stocking rate and season of use on diet quality and herbage availability of alfalfa grass pastures. *Can. J. Anim. Sci.* 77: 111-118.
57. POPP, J. D., W. P. Mc CAUGHEY and R. D. H. COHEN. 1997b. Effect of grazing system, stocking rate and season of use on herbage intake and grazing behaviour of stocker cattle grazing alfalfa-grass pasture. *Can. J. Anim. Sci.* 77: 677-682.
58. POPP, J. D., W. P. Mc CAUGHEY, R. D. H. COHEN, T. A. McALLISTER and W. MAJAK. 2000. Enhancing pasture productivity with alfalfa. A review. *Can. Plant Sci.* 88: 513-519.
59. POPPI, D. P., T. P. HUGHES and P. J. L'HUILLER. 1987. Intake of pasture by grazing ruminants. *In: A. M. Nicol (ed) Livestock Feeding of Pasture. Occ. Publication N° 10. N. Z. Soc. Anim. Production. Hamilton, N. Z.*, pp. 55-63.
60. REDMON, L. A. 1995. Grazing Systems for Pastures. Extension Facts: F-2567. Oklahoma Cooperative Extension Service. Oklahoma State University, 4 p.
61. REYNOLDS, C. K., H. F. TYRRELL and P. J. REYNOLDS. 1991. Effects of diet forage to concentrate ratio and intake on energy metabolism in growing beef heifers: Whole body energy and nitrogen balance and visceral heat production. *J. Nutr.* 121 (7): 994-1003.
62. ROMERO, N. A. 1981. Conceptos sobre manejos de los alfalfares. *Boletín de Divulgación Técnica N° 21, EEA INTA Anguil*, 27 p.
63. ROMERO, N. A. 1988. Investigaciones y progresos en el manejo de la alfalfa. II. Manejo otoñal. *Rev. Arg. Prod. Anim. Vol 8 (6): 517-519.*
64. ROMERO, L. A., M. S. ARONNA y A. CUATRIN. 2002. Producción estacional de forraje y relación hoja tallo de alfalfas multifoliadas. *Rev. Arg. Prod. Anim. Vol. 22 (Supl.1): 134-135.*
65. ROMERO, L. A., O. A. BRUNO y J. L. FOSSATI. 1993. Evaluación de cultivares de pasto ovillo en mezcla con alfalfa bajo pastoreo. *In: Metodología de evaluación de pasturas. IICA-PROCISUR, Montevideo (Uruguay). Diálogo XXXVIII*, pp 103-106.
66. ROMERO, N. A., E. A. COMERON y E. USTARROZ. 1995. Crecimiento y utilización de la alfalfa. *In: E. H. Hijano y A. Navarro (ed) La alfalfa en la Argentina. INTA Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, Cap. 8*, pp 149-170.
67. ROMERO, N. A., R. HERNÁNDEZ, A. CRAGNAZ y R. O. ROSSANIGO. 1981 Sistema de pastoreo en alfalfa. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 1 (5): 371-373.
68. ROMERO, N. A., N. A. JUAN, C. V. CASTELL y A. D. GONZALEZ. 1995. Efecto de la duración del período de pastoreo sobre la persistencia y producción de alfalfas con distinto reposo invernal. *Publicación Técnica N° 46, EEA INTA Anguil*, 19 p.
69. ROSSANIGO, R. O. y J. R. ARAGON. 2003. Alfalfa. *In: 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.
70. SCHLEGEL, M. L., C. J. WACHENHEIM, M. E. BENSON, W. J. MOLINE, H. D. RITCHIE, G. D. SCHWAB and S. R. RUST. 2000. Grazing methods and stocking rates for direct-seeded alfalfa pastures. I. Plant productivity and animal performance. *J. Anim. Sci.* 78: 2192-2201.
71. SCHENEITER, J. O. y O. BERTIN. 1996. Mezclas forrajeras para la región pampeana húmeda. Curso sobre pasturas. EEA INTA Pergamino, Diciembre 5-6, pp 11-17.
72. SMITH, D. 1972. Cutting schedules and maintaining pure stands. *In: H. Hanson (ed) Alfalfa. Science and Technology. ASA, Agronomy 15. Madison, Wisconsin, USA, Ch. 22*, pp. 481-496.
73. SMITH, S. R. (Jr.), J. H. BOUTON, A. SINGH and W. P. Mc CAUGHEY. 2000. Development and evaluation of grazing-tolerant alfalfa cultivars. A review. *Can. Plant Sci.* 80: 503-512.

74. SOUTHWOOD, O. R. and G. E. ROBARDS. 1975. Lucerne persistence and productivity of ewes and lambs grazed at two stocking rates with different management systems. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 15: 747-752.
75. SPADA, M. del C. 2004. Avances en alfalfa. Ensayos territoriales. ISSN 1515-4602, INTA. EEA Manfredi. Año 14, N° 14, 47pp.
76. SPADA, M. del C. y J. C. MOMBELLI. 1995. Adaptación al pastoreo de cultivares de alfalfa con ditinto grado de reposo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol. 15 (1): 278-280.
77. THOMET, P. und M. HADRON. 2000. Leistungsvergleich zwischen Kurzrasen- und Umtriebsweide mit Ochsen. 7 (10): 472-477 *Agrarforshung*
78. USTARROZ, E., A. M. KLOSTER, N. J. LATIMORI, M. ZANIBONI y D. MENDEZ. 1997. Intensificación de la invernada sobre pasturas base alfalfa. Primer Congreso Argentino de Producción Intensiva de Carne (Memorias). SAGPyA-INTA-Forrajes y Granos. Buenos Aires, pp 181-202.
79. VAN KEUREN, R. W. and A. G. MATCHES. 1988. Pasture production and utilization. *In: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill (Jr) (ed) Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA-CSSA-SSSA Agronomy Series 29. Madison, Wisconsin. USA, pp. 515-538.*
80. WHITE, D. H. 1987. Stocking rate. *In: R. W. Snaydon (ed) Managed Grasslands. B. Analytical Studies. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands, pp. 227-238.*
81. WHITE, J. M. 1973. Carbohydrate reserves of grasses. A review. *J. Range. Manage.* Vol. 26(1): 13-18.
82. WHITE, J. G. H. and G. P. COSGROVE. 1990. Lucerne grazing management. 2. Effect of grazing duration on defoliation pattern by ewes. *N. Z. J. Agric. Res.* 33: 621-625.
83. WILMAN, D. 1977. The effect of grazing compared with cutting at different frequencies on a lucerne-cocksfoot ley. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 88: 483-492.
84. ZANIBONI, C. M. 1990a. Niveles de subdivisiones y velocidad de rotación del pastoreo y su relación con la longevidad de la alfalfa. Informe final de Plan de Trabajo N° 4002 EEA INTA General Villegas (inédito).
85. ZANIBONI, C.M. 1990b. Efecto de la frecuencia de corte en primavera y otoño en la longevidad y productividad de la alfalfa. Informe final del Plan de Trabajo N° 4004. EEA INTA General Villegas (inédito).
86. ZANIBONI, C. M. y A. DILLON. 1999. Evaluación bajo pastoreo de cultivares de alfalfa. EEA INTA General Villegas. Publicación Técnica N° 28, 21 p.
87. ZUBIZARRETA, J. 1999. Eficiencia en la utilización de pasturas consociadas. Experiencia de los grupos CREA. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol. 19 (1): 71-77.





# Utilización de la alfalfa por vacas lecheras en pastoreo

*Ing. Agr. (Dr.) Eduardo A. Comerón*  
*Ing. Agr. Luis A. Romero*  
EEA Rafaela - INTA



## Introducción

Hace más de dos décadas, Reid y Jung -citados por Leaver (40)- sostenían que alrededor del 75% de la producción mundial de leche se concentraba entre las latitudes 30 y 60°. Estimaciones periódicas de diferentes organismos internacionales continúan hoy manteniendo dicha aseveración. Por otra parte, Leaver (40) estableció que en aquellos países donde los animales acceden a la pastura durante todo el año, este alimento puede llegar a proveer cerca del 90% de los requerimientos anuales de las vacas lecheras.

En el caso particular de la Argentina, y de acuerdo con resultados de múltiples encuestas efectuadas al sector primario por Agencias de Extensión y grupos de Economía Rural del INTA (*datos no publicados*), prácticamente el 65-70% de la producción de leche proviene de vacas que son alimentadas fundamentalmente con pasturas. En ese marco, la alfalfa es la especie de mayor importancia en la mayoría de las cuencas lecheras, con una participación variable en la dieta que va desde el 30% en otoño-invierno hasta el 80% en primavera-verano.

La adopción de la alfalfa en los sistemas ganaderos, y en particular los lecheros, surge como consecuencia de sus altos rendimientos de materia seca, su elevada calidad desde el punto de vista de digestibilidad y contenido proteico, su utilización durante todo el año y su bajo costo por kilo de materia seca. Todo esto la convierte en el alimento más adecuado y barato para la alimentación de los rumiantes. En consecuencia, el conocimiento de la productividad, el consumo y la digestibilidad de las pasturas de alfalfa es necesario para comprender las vías de utilización y para mejorar la eficiencia de la producción animal.

En este capítulo se pretende ampliar y actualizar parte de la información presentada por Romero y col. (50) en el libro «La Alfalfa en la Argentina». En este caso, sólo se abordará la utilización de la alfalfa como componente de la dieta de vacas lecheras, sin considerar en profundidad aquellos aspectos referidos a otras dietas más complejas y/o balanceadas.

## Factores que afectan el consumo y la respuesta animal en condiciones de pastoreo

El consumo es el primer criterio a considerar cuando se formulan dietas para vacas lecheras, particularmente las de alta producción, aunque a veces resulte imposible cubrir sus requerimientos de energía dentro de los límites de su capacidad de ingestión.

La cantidad de materia seca consumida por una vaca depende de muchas variables, las cuales podrían dividirse en dos grandes grupos: a) características de los animales: peso, edad, nivel de producción, etc.; y b) características del alimento (valor nutritivo).

Ambos grupos de variables están presentes tanto en condiciones de estabulación como de pastoreo. Sin embargo, en esta última situación, los animales deben cosechar ellos mismos el forraje, lo que provoca cambios en su comportamiento al incrementarse sus necesidades de mantenimiento por un aumento de la actividad voluntaria. De esta manera, se incorporan otros factores que pueden afectar el consumo, y que pueden agruparse como: i) estructura de la pastura: altura, densidad, etc.; ii) condiciones am-

bientales: si bien afectan también a los animales estabulados, son más críticas para las vacas en pastoreo; y iii) modo de conducción del pastoreo: nivel de asignación de pastura, sistema de pastoreo, suplementación, etcétera.

En consecuencia, y atendiendo a que todos estos factores se encuentran muy relacionados entre sí, se puede considerar que no existe una verdadera «causa-efecto». A pesar de ello, este capítulo se desarrollará desde el punto de vista del último grupo de factores precitado, vale decir, desde el modo de conducción del pastoreo. De todos modos, y cuando fuere oportuno, se hará referencia a la interacción con los otros factores.

### ***Nivel de asignación de pastura (AP)***

El nivel de asignación de pastura (AP) es simplemente la cantidad de pasto que se ofrece a un animal en un tiempo dado. Para los sistemas sólo pastoriles, la AP tendrá un efecto directo sobre la respuesta animal y la productividad, mientras que para aquellos sistemas donde la pastura es sólo un componente de la dieta -lo que ocurre en la mayoría de los sistemas lecheros- la AP tendrá además incidencia sobre los efectos de adición y sustitución de los alimentos involucrados.

Para una biomasa dada, toda variación de la superficie ofrecida al animal va a traducirse en una variación de la cantidad de pasto ofrecido. La AP se expresa comúnmente como:

$$AP = \text{gramos de materia seca (MS) por kg de peso vivo} = \text{g MS kg pv}^{-1}$$

O bien como:  $AP = \text{porcentaje de peso vivo} = \% \text{ pv}$

No obstante, en el caso de vacas lecheras, sería más recomendable expresarla como:

$$AP_{\text{vacas lecheras}} = \text{kilos de materia seca (MS) por vaca} = \text{kg MS vaca}^{-1}$$

Una vez fijado el nivel de intensidad de pastoreo deseado, la AP se obtiene a partir del siguiente cálculo :

$$AP \text{ (kg MS vaca}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Biomasa (kg MS ha}^{-1}\text{)} \times \text{Superficie Ofrecida (m}^2 \text{ vaca}^{-1}\text{)}}{10.000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}}$$

En la práctica, la variable incógnita es la superficie ofrecida, ya que el nivel de AP surge como consecuencia del planteo alimentario del sistema y el valor de la biomasa es estimado mediante cortes de la pastura (a 4 cm del nivel del suelo para el caso de la alfalfa).

### ***Relación entre AP y respuesta animal***

La información producida en la Argentina sobre pastoreo de alfalfa (12, 13), que coincide con los resultados obtenidos para otras pasturas por Poppi y col. (49), Peyraud y col. (48) y Dalley y col. (32), confirma la relación asintótica entre AP y consumo, así como entre AP y producción de leche. En la Figura 1 se representa la relación entre AP y consumo, apreciándose que si bien a bajos niveles de AP el aumento del consumo por



cada unidad de incremento de la AP es importante, a mayores niveles de AP la respuesta del consumo a incrementos de la AP se hace cada vez menos importante, hasta tornarse nula.

Bargo y col. (3), después de una extensa revisión, coincidieron en líneas generales con la ya comentada relación entre AP y consumo, aunque también concluyeron que aún no está claramente establecido el nivel de AP requerido para maximizar el consumo de materia seca de las pasturas. Basados en una ecuación de regresión calculada a partir de varios trabajos que utilizaron vacas lecheras alimentadas solamente con pasturas que no incluían alfalfa, estos autores identificaron una AP de 110 kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> como la óptima para alcanzar el máximo nivel de consumo (21,9 kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). En esa línea, también concluyeron que la máxima ingestión se alcanza cuando el nivel de AP se encuentra entre 3 y 5 veces por encima del máximo nivel de consumo.

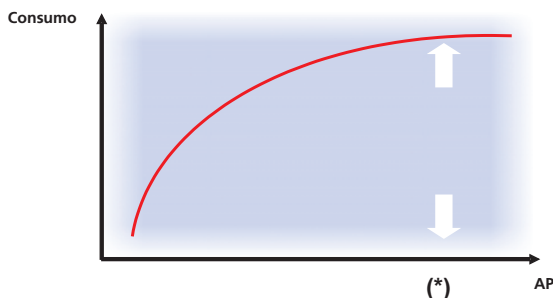


FIGURA 1 – Relación general entre nivel de asignación de pastura (AP) y respuesta animal (consumo) para una pastura de alfalfa. (\*) Nivel mínimo de AP para lograr el máximo consumo de alfalfa ( $MC_a$ ), siendo  $MC_a = 1,75 \times CME$  y donde  $CME =$  consumo máximo esperado. Adaptado de Comerón y col. (12).

En pasturas de alfalfa, Comerón y col. (12) constataron que el mínimo nivel de AP para obtener los valores máximos de consumo y de producción equivale **1,75 x CME**, siendo CME el consumo máximo esperado expresado en kg MS vaca día<sup>-1</sup> (Figura 1). Si bien el valor señalado se encuentra alejado del amplio rango sugerido por Bargo y col. (3), es coincidente con los propuestos por Leaver (40) y por Peyraud y col. (48), este último trabajando sobre pasturas de raigrás perenne (*Lolium perenne* L.) altamente fertilizadas. Todos estos autores concluyeron que el valor mínimo de AP para maximizar el consumo debería ubicarse alrededor del doble del CME, asumiendo el corte de la pastura a nivel del suelo.

Es probable que las grandes diferencias entre los valores previamente indicados se expliquen, en gran medida, por diferencias metodológicas en cuanto a muestreo de la pastura para determinar el nivel de asignación, estimación del consumo, antecedentes nutricionales, nivel de producción o potencial genético, tipo de pastura, etc.

En el caso de la alfalfa, si se quiere lograr una estimación confiable de la biomasa presente, se deberían tener en cuenta las siguientes recomendaciones prácticas:

- Para una misma superficie total de muestreo -que va a depender de la homogeneidad de la pastura- es recomendable reducir la cantidad pero aumentar el tamaño de las muestras, sugiriéndose, como mínimo, muestras de 1 m<sup>2</sup>.
- Duplicar y aparear los muestreos de la biomasa rechazada respecto de los muestreos de biomasa ofrecida.
- Efectuar el corte a una altura aproximada a los 4 cm del suelo.

Entre los motivos que justifican obviar el material que se encuentra entre el nivel del suelo y los 4 cm de altura de la planta se mencionan :

- El aporte insignificante de este estrato respecto del total de la biomasa aprovechable de la planta.

■ El no compromiso durante el muestreo de los puntos de crecimiento de la alfalfa (41), especialmente en el caso de cultivares de reposo intermedio-corto a sin reposo.

■ La existencia de una cantidad variable de material muerto, generalmente proveniente de las desmalezadas o cortes de limpieza, que además de no constituir parte de la biomasa presente puede, en ocasiones, dificultar el muestreo.

El valor del CME puede ser estimado a partir de ecuaciones de regresión múltiple o mediante el uso de programas informáticos, por lo general, asociados a sistemas de racionamiento, como *Ración*, *ARC*, *NRC*, *CNPS*, *INRA*tion y otros similares. En la práctica, el CME se puede estimar de manera sencilla y más o menos precisa a partir de la ecuación propuesta por Neal y col. (1984):

$$\text{CME (kg MS vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}) = (0,025 * \text{ peso vivo}) + (0,2 * \text{ producción de leche})$$

La validez de esta ecuación para la predicción del consumo está avalada también por el trabajo de varios autores, entre los cuales pueden citarse:

■ Faverdin (33), quien concluyó que, aun con un riesgo de subestimación que rondaría el 5%, esta ecuación era la única que predijo correctamente el consumo tanto en sistemas pastoriles (100 % de raigras perenne) como en condiciones estabuladas (70% silaje de maíz + 30 % concentrado).

■ El análisis de información proveniente del INTA Rafaela, con más de 15 años de resultados de ensayos y de modelos o unidades de producción de leche.

■ Castillo y col. (7), quienes además sugirieron una forma de ajustar el peso vivo de las vacas.

■ Mayne Wright (42) y Bargo y col. (2), que estimaron -para condiciones de pastoreo no limitantes en cantidad y calidad- un consumo de MS del orden del 3,5 y del 3,4% del peso vivo de vacas de alta producción, respectivamente. Esos valores de % de pv, traducidos a kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, son muy similares a los estimados por la ecuación de referencia.

Como ejemplo para mostrar las equivalencias entre ambos sistemas puede comprobarse que si la ecuación antedicha se utilizara para predecir el CME de una vaca de 550 kg de peso vivo y 25 litros de leche día<sup>-1</sup>, se llegaría a 18,75 kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, lo que es idéntico al 3,4% del pv. Por lo tanto, para lograr ese CME en condiciones exclusivas de pastoreo, el nivel mínimo de AP debería ser de 1,75\*18,75, o sea 33 kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> o bien alrededor de 60 g MS kg pv<sup>-1</sup>.

Esta forma de calcular el valor mínimo de AP con el objeto de obtener el máximo consumo de MS es muy próxima a la propuesta por Leaver (40), quien indicó una AP de 45 a 55 g MS kg de pv<sup>-1</sup> (es decir 27 a 33 kg MS animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) para registrar los máximos consumos en vacas de 600 kg de pv. Trabajando con pasturas de alfalfa, Castro y col. (8) observaron que incrementando la AP por encima de los 50-55 g MS kg de pv<sup>-1</sup> no obtenían ninguna respuesta práctica en la producción de leche. Coincidentemente con esto, Comerón y col. (12, 13) alcanzaron el máximo consumo en vacas de 560 kg pv con un AP de 55 g MS kg pv<sup>-1</sup> (o 31 kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>), cortando la pastura a una altura de 4 cm del suelo y bajo condiciones de pastoreo rotativo en franjas diarias sin suplementación. Por otro lado, en un ensayo que utilizó vacas de primer y tercer tercio de lactancia -con el fin de recrear la composición normal de los rodeos lecheros argentinos- y utilizando tres niveles de AP, Comerón y col. (12, 13) y Romero y col. (51) cuantificaron una respuesta marginal de producción del orden de 0,26 litros por cada kg de incremento en el nivel de AP (Cuadro 1).

**CUADRO 1.-** Respuesta animal a tres niveles de asignación de pastura de alfalfa (Romero et al, 1995 b y Comerón et al, 1995)

Nivel de asignación de pastura (kgMS/v/d)	11,5	21,9	34,8
Producción de leche (l/v/d)	14,0 a	17,0 b	19,2 c
Consumo (kgMS/v/d)	9,0	15,9	19,5
Consumo de hoja (% de la MS total ofrecida)	75	62	62
Eficiencia de cosecha (%)	82	76	64
Tiempo de pastoreo (minutos/día)	340 x	380 y	380 y

Valores seguidos de letras distintas difieren significativamente al 1% (para a, b, c) y el 5% (para x, y)

## **Nivel de AP y la eficiencia de cosecha**

En función de lo desarrollado en el punto anterior, si se desea maximizar la respuesta animal

bajo condiciones exclusivamente de pastoreo, se deberán utilizar altos niveles de AP o - lo que es lo mismo- bajas cargas animales.

Bajo estas condiciones, la eficiencia de utilización de la pastura (EUP), expresada como la relación entre el consumo y la asignación de pasto ( $EUP = \text{Consumo} / AP$ ), será muy baja. Varios investigadores coinciden en que la EUP puede llegar a valores muy bajos, aun inferiores a 50 o 55% (50, 48, 44). Trabajar a esos niveles de EUP implicaría desperdiciar un gran volumen de forraje y, en consecuencia, obtener una muy baja productividad por unidad de superficie. No obstante, Romero y col. (51) y Comerón y col. (12, 13) señalaron que si se incrementara significativamente la EUP de una pastura de alfalfa se afectaría negativamente el consumo y, por ende, la producción de leche (Cuadro 1).

En el trabajo de Romero y col. (51) se analizó, por estratos de 10 cm, tanto la distribución de la biomasa de hoja y tallo (Figura 2a) como la calidad de la alfalfa ofrecida (Figura 2b). También se evaluó el consumo de hoja y tallo para los tres niveles de AP utilizados (10, 20 y 30 kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) (Figura 3).

Como se puede observar en la Figura 2b, el contenido de proteína bruta (PB) se incrementa y la cantidad de fibra detergente ácida (FDA) y neutra (FDN) se reducen a medida que los estratos avanzan desde el nivel del suelo hacia el ápice de los tallos. Esas variaciones pueden expresarse matemáticamente de acuerdo con lo establecido por las siguientes ecuaciones:

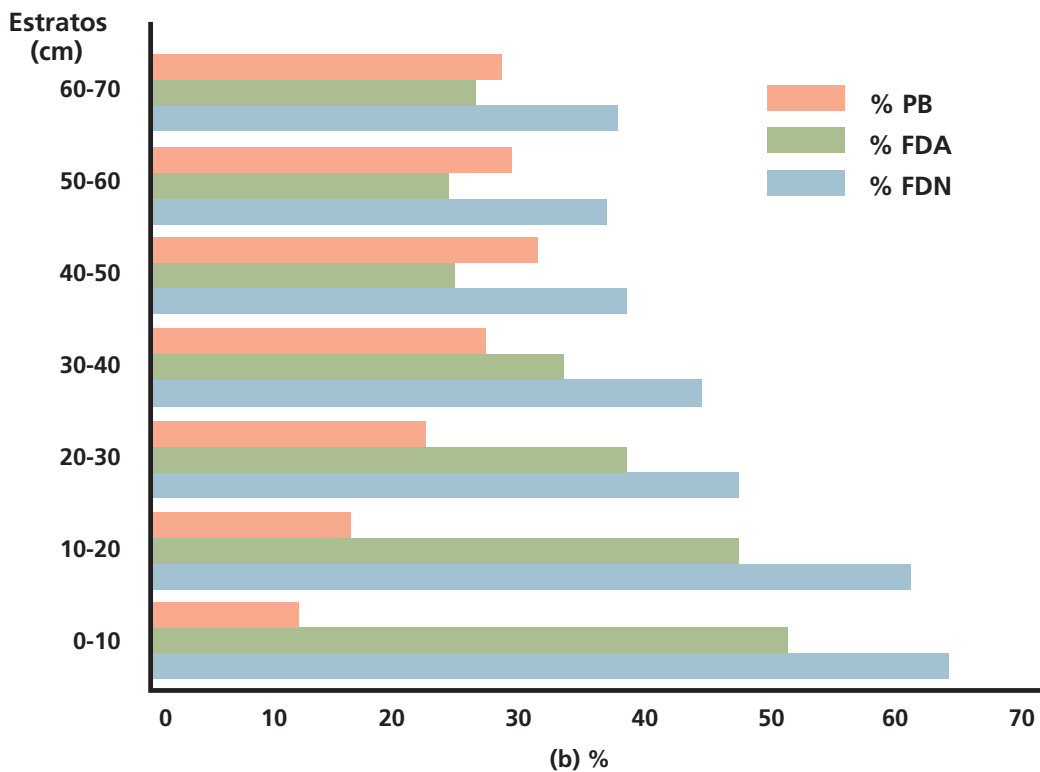
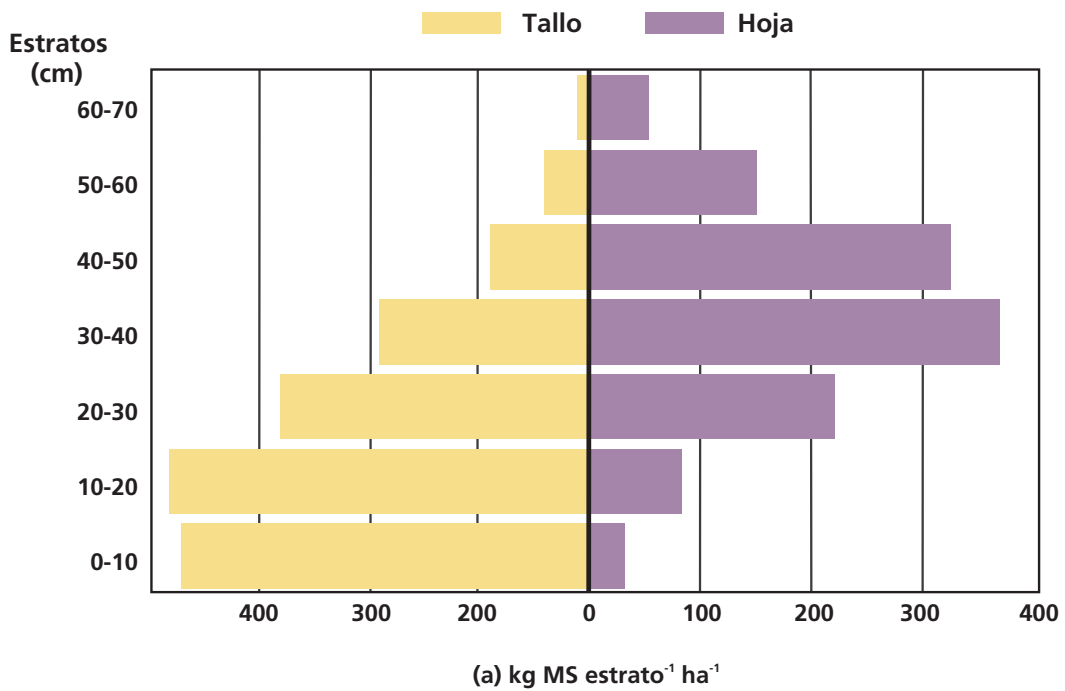
$$PB (\%) = 1,03 + 9,91 E - 0,86 E^2 \quad (n = 21; R^2 = 0.74; RSD = + 4,17)$$

$$FDN (\%) = 78,14 - 13,07 E + 1.05 E^2 \quad (n = 21; R^2 = 0.63; RSD = + 8,35)$$

$$FDA (\%) = 63,47 - 10,88 E + 0,74 E^2 \quad (n = 21; R^2 = 0.82; RSD = + 5,08)$$

donde E = estrato

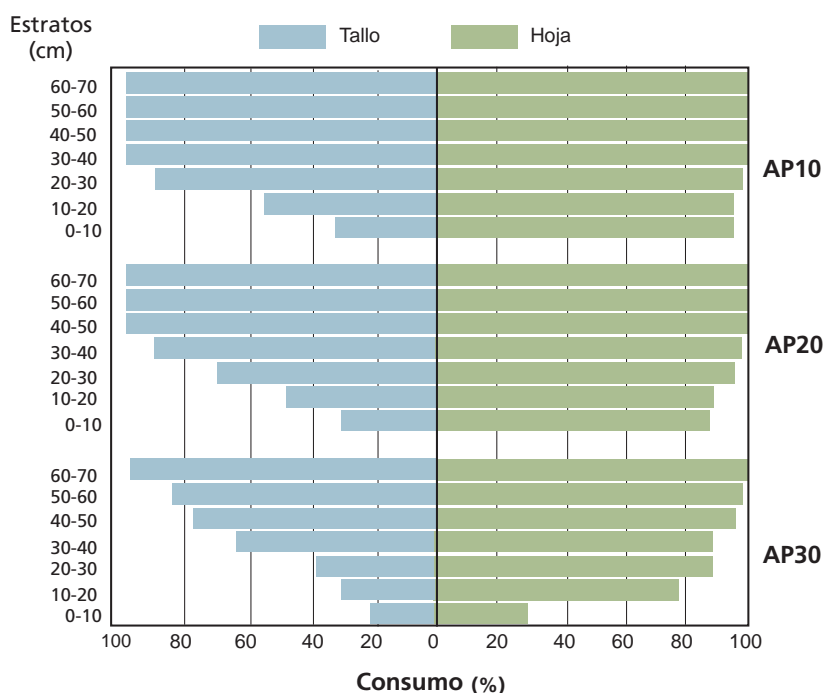
Se aprecia que la variación de la calidad fue lineal hasta una altura de 50 cm, alcanzando incrementos 5,03 puntos porcentuales por cada estrato de 10 cm para la PB, y disminuciones de 6,62 y 6,87 puntos para FDN y FDA, respectivamente. Por encima de los 50 cm de altura, estos parámetros de calidad se mantuvieron más o menos constantes para todos los estratos (Figura 2b).



**FIGURA 2** – Distribución por estratos de 10 cm de: (a) biomasa de hoja y tallo (kg MS estrato<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) y (b) calidad forrajera expresada en porcentajes de proteína bruta (PB) y fibra detergente ácida (FDA) y neutra (FDN) en una pastura de alfalfa. Adaptado de Romero y col. (51).

Las distribuciones por estratos de la biomasa de hoja y tallo y de la calidad de la alfalfa tienen consecuencias en la respuesta y en el comportamiento animal, en función del nivel de AP o de carga animal aplicados. La Figura 3 resume parcialmente estas relaciones.

La figura 3 muestra que a medida que bajó el nivel de asignación (aumento de carga animal), los animales debieron explorar los estratos más cercanos al suelo y realizar un mayor esfuerzo para la cosecha del material. En efecto, para el caso de AP10 se observa una mayor proporción de tallo consumido (particularmente entre 20 y 40 cm de altura de la planta) y una ingesta casi completa de la hoja en casi todos los estratos. En el otro extremo, la proporción de hoja consumida en AP30 en el estrato más cercano al suelo fue muy baja (menos del 30% de lo ofrecido), mientras que el tallo solamente fue consumido en



**FIGURA 3** - Consumo de materia seca de hojas y tallos de alfalfa por estratos de 10 cm expresado como porcentaje comido sobre el total de la pastura ofrecida a vacas lecheras sometidas a tres niveles de asignación de pastura (AP): 10 (AP 10), 20 (AP 20) y 30 (AP 30) kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>.

su totalidad en el estrato más elevado de la planta. En AP20 la proporción de tallo y hoja de la ingesta fue prácticamente intermedia, especialmente a partir de la mitad inferior de la planta. Finalmente, cabe señalar que la proporción consumida de hoja sobre el total de materia seca de alfalfa ingerida fue mayor en AP30 (75%) que en los otros dos niveles de asignación ensayados (62%).

La revisión de varios trabajos efectuada por Romero y col. (50) permite concluir que el comportamiento animal descrito previamente es común a diferentes condiciones de manejo. En efecto, siempre que se restringen las condiciones de pastoreo se observa un doble efecto que combina un consumo reducido con un material de menor valor nutritivo.

Jahn y Soto (37), utilizando intensidades de pastoreo que lograron un 70% de eficiencia de cosecha, también describieron el comportamiento ingestivo diario de vacas lecheras pastoreando alfalfa y analizaron sus consecuencias productivas. Observaron que durante las 3 primeras horas de utilización de una franja de pastoreo (de 8:30 a 11:30 h), la tasa de consumo fue muy alta y alcanzó un pico de 2,9 kg MS vaca<sup>-1</sup> hora<sup>-1</sup>; luego, a medida que la defoliación iba transcurriendo durante el resto del día (de 11:30 a 08:00 h del día siguiente), la tasa de consumo fue bajando en forma marcada y sostenida, oscilando entre 1,0 y 0,1 kg MS vaca<sup>-1</sup> hora<sup>-1</sup>. En el nivel de eficiencia de cosecha con el que trabajaron, constataron que en la alfalfa rechazada prácticamente no quedaban hojas, ya que los animales habían logrado desprenderlas de los tallos sin que éstos fueran consumidos.

En el contexto definido en los párrafos anteriores, si se deseara mantener o aún aumentar la respuesta individual de los animales, debería recurrirse a la suplementación con forrajes conservados y/o concentrados. Esto también traería aparejado una serie de

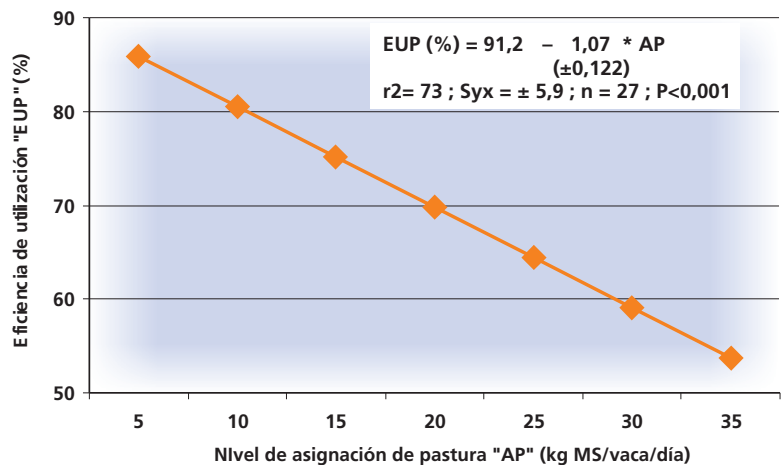


mejoras adicionales como consecuencia de la oferta de dietas menos desbalanceadas desde el punto de vista nutricional.

Los resultados de varias experiencias realizadas en el país con pasturas de alfalfa señalan que, para lograr un compromiso entre producción de leche individual y por unidad de superficie, el nivel de AP debería ser aproximadamente 1,5 veces el consumo máximo esperado (CME). Esto equivaldría a un valor de 20 a 22 kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (aproximadamente 4% del peso vivo), con una eficiencia de utilización de al menos el 70% (50). Bargo y col. (3), si bien no se refirieron específicamente a pasturas de base alfalfa, recomendaron en la práctica un nivel de AP de 2 veces el CME, lo que –en condiciones de suplementación– equivale a 25 kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>.

Sobre la base de los trabajos comentados en el párrafo anterior, y considerado un amplio rango de asignación de forraje, se puede representar la relación entre AP y eficiencia de utilización de la pastura (EUP) como una regresión lineal, conforme se presenta en la Figura 4. Se observa que para un rango de AP que va desde 5 a 35 kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, por cada unidad de incremento en AP se produce una disminución de la EUP de alrededor de 1,1%. Si la AP se expresa en g MS kg pv<sup>-1</sup>, la reducción en la EUP sería del orden de 0,56 % g MS<sup>-1</sup>, de acuerdo con lo establecido por la ecuación  $EUP = 91,1 - 0,56 * AP$ .

La información generada durante cinco años en la Unidad de Producción de Leche (UPL) de la EEA Rafaela-INTA bajo condiciones de alimentación pastoril de base alfalfa y bajo nivel de suplementación (relación forraje:concentrado de 90:10), muestra que para un rango de AP de 17 (invierno) y 33 (primavera) kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> la EUP entre redujo cerca de 1,6 % por cada kg MS de incremento en la asignación, siguiendo la ecuación  $EUP (\%) = 95,2 - 1,56 * AP$  (datos no publicados).



**FIGURA 4.** - Relación entre el nivel de asignación (AP) y la eficiencia de utilización (EUP) de una pastura de alfalfa por parte de vacas lecheras en condiciones de pastoreo directo.

En todas las evaluaciones efectuadas en sistemas reales de producción, tanto de productores como de unidades físicas de la EEA Rafaela-INTA, se ha observado que la eficiencia de cosecha varía a lo largo de las estaciones del año. En efecto, mientras que en invierno es común llegar a valores que superan el 80%, en primavera y especialmente en verano, puede caer a menos del 50%. La alta EUP invernal es el resultado de una mayor carga animal, que puede tornarse demasiado elevada por un inadecuado nivel de apotreramiento; además, en esta época del año, las plantas presentan un menor grado de lignificación, lo que permite pastoreos más cercanos al suelo. En primavera-verano, la combinación de las altas e impredecibles tasas de crecimiento de la pastura, el pastoreo en estados fenológicos avanzados, la mayor lignificación de la alfalfa a igualdad de estado fenológico (lo cual dificulta la cosecha) y los factores ambientales adversos (fundamentalmente estrés térmico) hacen que se afecte el consumo y, por ende, la eficiencia de utilización. A todo ello se suma la gran variabilidad de calidad forrajera

que suele observarse dentro de un mismo estado de madurez y/o estación del año (34).

Si bien es cierto que la alfalfa puede soportar pastoreos intensos, existe un límite para la eficiencia de utilización o de nivel de carga animal pasado el cual se afecta su rendimiento y persistencia. Comerón y col. (14, 15) cuantificaron el efecto del nivel de carga animal instantánea (cantidad de animales  $\text{ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) sobre la producción y la persistencia de una pastura de alfalfa utilizada bajo un sistema de pastoreo rotativo en franjas diarias con vacas lecheras. En el Cuadro 2 se resume la información recogida sobre un total de 14 aprovechamientos de la pastura, realizados entre noviembre de 1994 y fines de junio de 1996.

**CUADRO 2-** Efecto de tres niveles de carga animal instantánea sobre la producción, persistencia y morfología de plantas en una pastura de alfalfa utilizada bajo pastoreo directo con vacas lecheras en la EEA Rafaela-INTA sobre un suelo Argiudol típico. Adaptado de Comerón y col. (14, 15).

Nivel de carga animal	Alta	Media	Baja
Carga animal instantánea (vacas $\text{ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) <sup>(1)</sup>	228	114	76
Superficie ofrecida ( $\text{m}^2 \text{ vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ )	50	101	151
Asignación de pastura ( $\text{kg MS vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ )	7,8	20,6	30,8
Consumo ( $\text{kg MS vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ )	6,2	14,3	16,8
Eficiencia de cosecha (%)	82	70	55
Carga animal media ( $\text{VO ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )	4,21	1,61	1,08
Producción total acumulada ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ) <sup>(3)</sup>	30.068 a	35.026 b	34.850 b
Densidad de la pastura ( $\text{plantas m}^{-2}$ ) <sup>(4)</sup>	35 a	42 b	45 b
Cantidad de tallos planta <sup>-1</sup> <sup>(4)</sup>	7,1	7,2	7,0
Peso de la raíz ( $\text{g MS planta}^{-1}$ ) <sup>(4)</sup>	7,45 a	8,35 a	10,35 b
Peso de la corona ( $\text{g MS planta}^{-1}$ ) <sup>(4)</sup>	9,65	10,25	11,50

<sup>(1)</sup> Peso vivo de vacas = 560 kg ; <sup>(2)</sup> Calculada en función de una producción de alfalfa promedio de 12.000 kg MS  $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y una duración de la pastura de 4 años ; <sup>(3)</sup> Tomada de abril 1994 a julio 1996 ; <sup>(4)</sup> Tomada al mes de julio de 1996; y VO = vaca en ordeño. En las filas, los valores seguidos de distinta letra difieren estadísticamente ( $p > 0,05$ ).

De la observación del Cuadro 2 se infiere claramente el efecto negativo que la carga animal «alta» tuvo sobre la producción y la persistencia de la alfalfa. Es importante mencionar que esos efectos negativos ya habían comenzado a manifestarse desde los 18 meses a partir de la fecha de implantación de la pastura (datos no mostrados). Para el tipo de suelo en el que se desarrolló el estudio, los autores concluyeron en que cuando se supera una carga instantánea de 114 vacas  $\text{ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  (65.000 kg de pv adulto), la compactación de la zona superficial del suelo puede provocar una reducción de la velocidad de infiltración del agua y de la tasa de difusión de oxígeno, lo que afecta seriamente la supervivencia de la planta y, por ende, la producción de la pastura. Es probable que en suelos arenosos, con textura más gruesa, la productividad y la persistencia de la pastura se vea afectada a partir de niveles de carga animal más elevados que los utilizados en esta experiencia.

Lamentablemente, el rango de cargas animales empleado en el trabajo (Cuadro 2) no permitió estimar con mayor precisión el punto de inflexión en el que la carga comienza a afectar, de manera significativa, el rendimiento y la supervivencia de la alfalfa; para

ello, hubiera debido incluirse un nivel de carga intermedio «alta» y «media». Sin embargo, de acuerdo con la información empírica proveniente de otras experiencias realizadas en la EEA Rafaela-INTA (*datos no mostrados*), se sugiere que la alfalfa podría tolerar una carga de hasta alrededor de 140 VO ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> sin detrimento aparente de su rendimiento y persistencia. Ese nivel de carga instantánea equivaldría aproximadamente a 2 VO ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Este efecto negativo de las elevadas cargas animales no sólo se verifica para el caso de la alfalfa, sino que también fue informado por Mayne y col. (43) para pasturas de raigrás perenne, especialmente si éstas estaban implantadas en suelos pesados y húmedos.

Como forma de reducir el daño que las altas cargas instantáneas ocasionan a las pasturas, Comerón y col. (10, 11) propusieron -como variante del sistema rotativo- la utilización de franjas de mayor tiempo de ocupación, aunque sin modificar la carga media anual a través del mantenimiento del nivel medio de asignación de pastura (ver más adelante *Sistemas de Pastoreo*).

Otro importante efecto negativo sobre la pastura que se observó en el trabajo de Comerón y col. (14, 15) se relaciona con el uso sostenido de altos niveles de eficiencia de cosecha. En efecto, cuando ésta superó de manera continua el 80% se afectó fuertemente la velocidad de rebrote de la pastura y se produjo un mayor número de lesiones a nivel de la corona de las plantas, particularmente de cultivares sin reposo invernal.

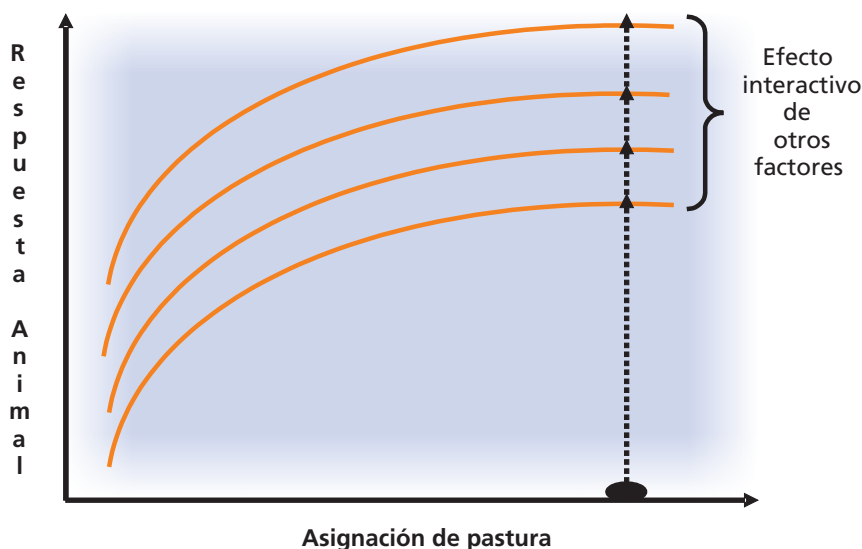
Algunos investigadores han sugerido que la carga animal o la EUP no debería definirse sobre la base de la AP sino en función de la cantidad y las características del forraje rechazado. Por ejemplo, Jahn y col. (38) ensayaron la determinación de la intensidad de pastoreo de acuerdo con la altura de la planta de alfalfa rechazada, expresando ésta última como porcentaje de la altura de planta ofrecida. En esta misma línea de pensamiento, Comerón (16) condujo durante 5 años en la EEA Rafaela-INTA un modelo físico de producción de leche orgánica (UPLO) donde utilizó un sistema de pastoreo rotativo con franjas de tiempo de ocupación variable, que iban desde 1/2 a 2 días como máximo; el criterio para efectuar los cambios de franjas se centraba en la altura de los tallos y la presencia de hojas en la alfalfa rechazada, de modo tal de obtener promedios de EUP no menores al 70%. Con ese sistema, se lograron productividades de alrededor de 10.000 litros ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con cargas de hasta 1,7 vaca vaca total ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

### ***Interacción con los otros factores que afectan la respuesta animal***

Como ya fuera señalado, la evolución asintótica relativa entre la AP y el consumo se verifica en forma permanente. Sin embargo, cuando se introducen en el sistema los otros factores que afectan la ingesta (características de los animales y del forraje, estructura de la pastura, ambiente y modo de conducción del pastoreo), se puede afectar significativamente el valor absoluto de esa relación (Figura 5).

En consecuencia, para una misma AP, la respuesta animal puede variar en función de la influencia que ejerzan los otros factores involucrados. Tal es el caso de lo informado por Romero y col. (50) quienes, para una misma asignación de pastura, obtuvieron distintas respuestas de vacas lecheras en función de sus potenciales genéticos productivos, de la relación hoja:tallo del forraje y de otros parámetros de calidad de la pastura.

Jahn y col. (39) evaluaron tres estados de madurez de la alfalfa y dos intensidades de pastoreo (o nivel de residuos postpastoreo), y observaron que para un mismo nivel de



**FIGURA 5** – Representación esquemática de las variaciones que puede tener la relación entre respuesta animal y asignación de pastura cuando intervienen otros factores, tales como características de los animales, valor nutritivo y estructura de la pastura, ambiente y modalidad del pastoreo.

utilización la producción de leche fue de 20,0, 18,9 y 17,2 litros vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para los estados de botón floral, 10% y 50% de floración, respectivamente. Obviamente, esta disminución de la producción se vinculó con la pérdida de valor nutritivo de la alfalfa a medida que avanzaban sus estados de madurez, dado que los valores de DIVMS fueron de 64,2% (botón) a 61,6% (10% flor) y 59,9% (50% flor). Sin embargo, cuando se disminuyó la intensidad de la defoliación (alto residuo pospas-toreo), prácticamente no hubo efecto del estado de madurez sobre la producción de leche, que fue de 19,5, 19,8 y 20,3 litros vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, respectivamente. Los autores explicaron la interacción entre los dos factores evaluados sugiriendo que cuando las condiciones de pastoreo son menos restrictivas, el animal trata de compensar la menor calidad de la pastura con un mayor grado de selectividad del material.

Para ilustrar aún un poco más lo complejo que resulta prever la respuesta animal en condiciones de pastoreo por la interacción de todos los factores que intervienen, se presentan en el Cuadro 3 los resultados obtenidos por Comerón y col. (21, 22) en dos experiencias realizadas en la EEA Rafaela-INTA sobre pasturas de alfalfa.

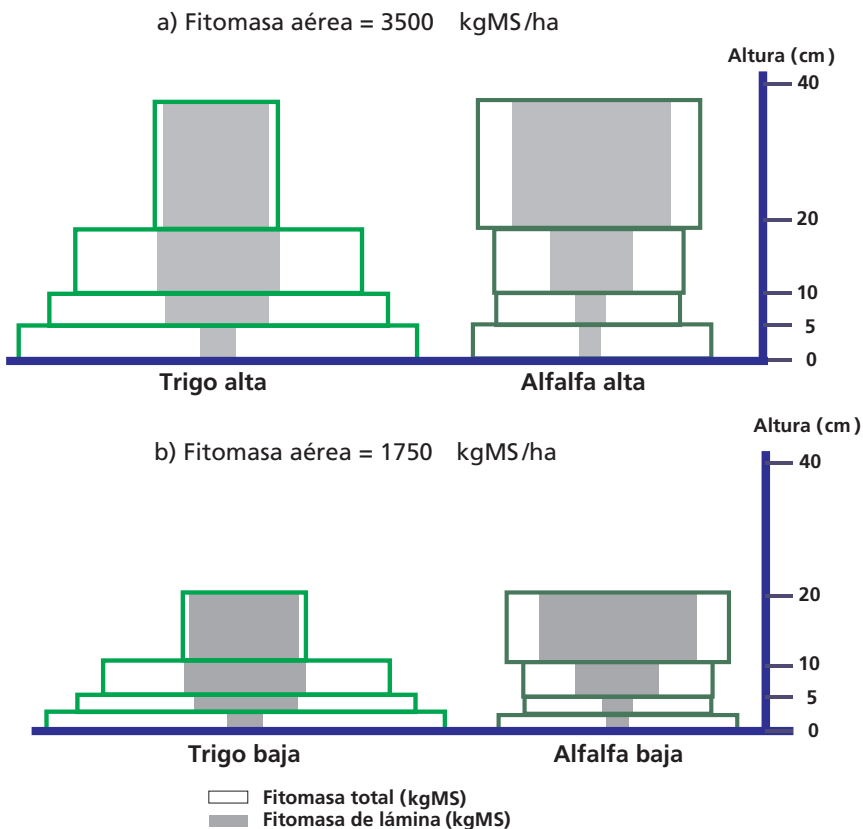
**CUADRO 3** - Respuesta productiva de vacas lecheras a diferentes niveles de asignación de pastura (AP) y de características de forraje ofrecido durante el período estival en dos ensayos sobre pasturas de alfalfa. Adaptado de Comerón y col. (21, 22)

	Comerón y col. (2002 d)			Comerón y col. (2002 e)			
	Nivel de AP variable			Nivel de AP similar			
AP (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	20.8 a	24.4 b	32,0 c	21,2	22,2	19,2	20,6
DIVMS (%)	66,4	66,4	64,5	63,4	61,8	60,6	65,6
Tiempo rebrote (días)	28	35	42	25	32	39	20
Altura alfalfa (cm)	64	71	72	45	49	65	45
Biomasa (kg MS ha <sup>-1</sup> )	1768	2254	2953	1535	1696	1865	919
Consumo (kg MS v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	14,9	16,5	16,0	14,3	11,8	13,9	16,4
Leche (l vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	25,9 a	24,8 a	21,7 b	21,3 a	20,8 a	21,2 a	25,2 b
Eficiencia cosecha (%)	71,3	67,6	49,8	68,4	54,6	72,8	79,6
ITH medio <sup>(1)</sup>	67	71	79	74	78	77	69

(1) ITH = Índice de Temperatura y Humedad (valor mínimo crítico = 72).  
En las filas, los valores seguidos de distinta letra difieren estadísticamente (p>0,05).

En líneas generales, se admite que a medida que se incrementa el nivel de AP se mejora la respuesta animal, y viceversa. Sin embargo, en las dos experiencias resumidas en el Cuadro 3, se observa que la producción de leche se ordenó no sobre la base de la AP sino en función del efecto combinado del estrés térmico (valores elevados de ITH) y de la menor calidad de la pastura.

Galli y Cangiano (35) evaluaron el efecto de la estructura de la pastura sobre el peso del bocado y la tasa de consumo. Aplicando ecuaciones de área y de profundidad de bocado, simularon el pastoreo de una vaca lechera de 600 kg en pasturas de trigo y alfalfa cuyas estructuras eran diferentes, particularmente en la distribución vertical de la fitomasa total y en la cantidad de lámina u hoja presente en cada horizonte de pastoreo. Para cada una de ellas, y manteniendo la densidad de los horizontes de pastoreo, consideraron dos situaciones: a) «alta» = 40 cm de altura y 3.500 kg MS ha<sup>-1</sup>; y b) «baja» = 20 cm de altura y 1.750 kg MS ha<sup>-1</sup> (Figura 6).



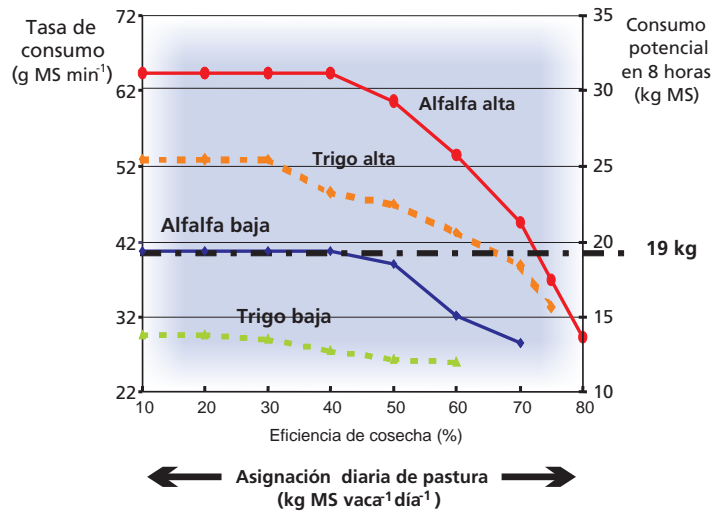
**FIGURA 6** - Distribución vertical de la fitomasa aérea total y de la fitomasa de lámina (hoja) en pasturas de trigo y de alfalfa bajo dos situaciones de producción forrajera: alta (3.500 kg MS ha<sup>-1</sup>) y baja (1.750 kg MS ha<sup>-1</sup>). Adaptado de Galli y Cangiano (35).

De acuerdo con lo exhibido en la Figura 6, se puede esperar una variación muy marcada de tamaño y peso de bocado y de tasa de consumo en pasturas de distinta estructura, lo que determina una respuesta animal particular para cada caso. En ese contexto, Cangiano y col. (6), comparando pasturas de alfalfa y trigo de similar biomasa y altura, concluyeron que la mayor densidad que la leguminosa presenta en los estratos superiores permite a los animales lograr bocados más pesados y tasas de consumo más rápidas, lo que se traduce en una mayor ingesta diaria de pasto.



En el mismo trabajo de Galli y Cangiano (35), se estimaron las relaciones entre consumo y eficiencia de cosecha para las cuatro estructuras de pastura definidas anteriormente (trigo alta/baja y alfalfa alta/baja) y para una vaca lechera con un consumo máximo de 19 kg MS día<sup>-1</sup> (Figura 7).

Si se asume que la tasa de consumo para cada nivel de eficiencia de cosecha se corresponde con el valor promedio en 8 horas de pastoreo, de la Figura 7 se infiere que a bajas eficiencias de cosecha (menores al 50%) la tasa de consumo es lo suficientemente alta como para no limitar el consumo diario, salvo en la situación denominada «trigo baja». En condiciones de alimentación exclusivamente pastoril, y si bien los animales podrían teóricamente extender su tiempo de pastoreo (acción de alcance práctico muy limitado), se concluye que a medida que se mejore la eficiencia de cosecha -como consecuencia de una menor asignación de pastura o una mayor carga animal- la estructura de la pastura afectará el comportamiento del animal, impidiendo que logre su consumo potencial.



**FIGURA 7** - Relación entre eficiencia de cosecha, tasa de consumo y consumo diario potencial de vacas lecheras sobre pasturas de diferente estructura y con un consumo máximo de 19 kg MS día<sup>-1</sup>. Las cuatro estructuras de pastura evaluadas son: alfalfa y trigo alta (40 cm y 3.500 kg MS ha<sup>-1</sup>) y alfalfa y trigo baja (20 cm y 1.750 kg MS ha<sup>-1</sup>). Adaptado de Galli y Cangiano (35).

### Momento de utilización de la alfalfa

A pesar de todas las ventajas inherentes a la alfalfa, y que fueran enunciadas en la introducción de este capítulo, se verifican en la práctica diferencias muy importantes entre los niveles potenciales de producción y persistencia y los niveles realmente obtenidos en la mayoría de los sistemas de producción. Algunas estimaciones ubican esta brecha en el orden del 70 al 80%.

En Chile, bajo condiciones de pastoreo alternado con cortes para la confección de reservas, Jahn y Soto (37) señalan la existencia de muchas praderas de alfalfa con persistencias superiores a 5-6 años. Soto y col. (57) indican que, bajo condiciones experimentales de utilización con pastoreo, fueron capaces de mantener una pastura de alfalfa durante 8 años con producciones superiores a las 19 tn MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Por su parte, el Ing. Agr. O. A. Bruno (*comunicación personal*) señaló la existencia de potreros de alfalfa de más de 8 años de duración en sistemas de invernada de novillos Holando en la zona pampeana húmeda de la Argentina.

Entre las múltiples causas que determinan esas notables diferencias entre el nivel productivo potencial y real de la alfalfa, pueden mencionarse a particularidades del microrrelieve del suelo; deficiencias de implantación; ausencia o insuficiencia de control de plagas, malezas y enfermedades; inadecuado o incorrecto manejo del cultivo; etcétera.

Romero y col. (54) señalaron el efecto detrimental del microrrelieve y del encharcamiento del suelo sobre la productividad y la persistencia de la alfalfa. También el inco-

rrecto manejo del pastoreo podría sindicarse como otra de las causas más importantes de pérdida de los alfalfares, particularmente en los sistemas intensivos de producción de leche. En general, ese manejo deficiente se refleja en la definición de inadecuados tiempos de reposo entre pastoreos sucesivos, haciendo que éstos sean: a) demasiado cortos durante el otoño-invierno, lo que se asocia -en gran medida- a una baja proporción de pasturas en el campo, usualmente en el contexto de una inexistente o inadecuada rotación de cultivos, y b) demasiado largos durante la primavera-verano, con aprovechamientos a estados de madurez muy avanzados que se acompañan con una caída importante de la calidad y la cantidad total de forraje.

Existe suficiente información que define al inicio de floración o a la presencia de suficiente rebrote basal como el momento de utilización más recomendable de la alfalfa. Hay también suficiente evidencia indicativa de que la especie tolera defoliaciones relativamente intensas pero no frecuentes. Como ya se mencionó anteriormente, Jahn y Soto (37) informaron altas persistencias en pasturas de alfalfa manejadas con un pastoreo rotativo que respete adecuadamente los períodos de descanso y de pastoreo, permitiendo a la planta recuperar sus reservas de carbohidratos de manera de poder emitir nuevos rebrotes. Sin embargo, existen a veces opiniones contrastantes respecto del destino de la pastura y del equilibrio entre la respuesta animal y la producción o persistencia de la alfalfa.

De acuerdo con Jahn y col. (39), la mayor producción de leche individual y por superficie se logra cuando la alfalfa se encuentra en estado de botón floral y no cuando se utiliza en otros estados más avanzados de madurez. No obstante, también advierten que la alfalfa no soportaría en forma continuada este manejo, ya que no se permitiría la necesaria recuperación de las reservas. Con el objetivo de compatibilizar la producción de leche con la longevidad de la pastura, Jahn y col. (38) ya habían recomendado el aprovechamiento de la alfalfa en forma alternada, es decir, uno o dos pastoreos al estado de botón y luego un corte para heno o silaje con la alfalfa al 10-20% de floración. En esa línea, Soto y Jahn (56) demostraron que la más adecuada alternancia de momentos o estadios de aprovechamiento sería «botón-10% flor» o «botón-50% flor». Cabe acotar que, con este manejo, el rendimiento de materia seca de la pastura fue similar al obtenido con la utilización continua al 10% flor.

En momentos de altas tasas de crecimiento (generalmente durante octubre-noviembre), o en períodos con significativas deficiencias hídricas (donde suele ocurrir una floración prematura), la utilización de un potrero debería efectuarse en estados de madurez más tempranos a los recomendados, como por ejemplo antes de botón floral. En algunos modelos físicos del INTA Rafaela y en otros sistemas reales de producción de leche, se ha puesto en práctica -si bien en forma ocasional- el inicio anticipado de utilización de un potrero de alfalfa, aunque manteniendo siempre el orden progresivo de ocupación de las franjas respecto del aprovechamiento anterior. Este manejo «coyuntural» permite pastorear alfalfas en estados de madurez no tan avanzados. En caso de registrarse tasas de crecimiento demasiado elevadas, que a veces se combinan con la imposibilidad temporaria de acceso por falta de piso, puede ser recomendable el pastoreo de sólo una parte del potrero, dejando el resto para la confección de reservas (heno o henolaje).

Obviamente, todos los anteriores comentarios de manejo están subordinados al nivel de carga animal o de asignación de pastura que se esté aplicando, lo que a su vez debería estar definido dentro de la correcta presupuestación forrajera del establecimiento.

## Sistemas de pastoreo

Existe mucha información nacional e internacional (47, 4, 5, 37) que demuestra que, si se pretende lograr un manejo adecuado de las reservas de la planta y permitir un rebrote vigoroso de la alfalfa, el sistema de pastoreo más recomendado es el **rotativo en franjas** y no el continuo.

Complementariamente, Romero y col. (52, 53) demostraron que el aprovechamiento de la alfalfa en pie es más ventajoso que el de la alfalfa cortada. Estos autores, empleando franjas de similar tamaño ( $AP = 20 \text{ kg MS vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) e idénticos niveles de suplementación ( $5,5 \text{ kg MS vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ), compararon tres métodos de utilización de una pastura de alfalfa: i) pastoreo directo en franjas diarias (PD); ii) pastoreo de forraje cortado y preoreado en andanas (PC); y iii) pasto picado distribuido en comederos (PP). Los resultados obtenidos se resumen en el Cuadro 4.

Se aprecia claramente que el pastoreo directo permite una mayor respuesta productiva de las vacas lecheras respecto del pasto cortado y preoreado o del pasto picado y ofrecido en comederos. Estas diferencias se explican fundamentalmente por la capacidad de selección que el animal puede realizar sobre el material ofrecido.

**CUADRO 4** – Producción de leche en vacas sometidas a tres métodos de utilización de una pastura de alfalfa: pastoreo directo en pie (PD); pastoreo de forraje cortado, preoreado y ofrecido en andanas (PC), y forraje picado y ofrecido en comederos (PP). Adaptado de Romero y col. (52).

Respuesta Animal	PD	PC	PP
Producción de leche (l/v/d)	20,5 a	18,8 b	18,4 b
Consumo de pastura (kgMS/v/d)	11,7	11,9	13,8
Consumo total (kgMS/v/d)	16,75	16,95	18,80
Eficiencia de conversión (l/kgMS)	1,22	1,11	0,98

Los valores seguidos de letras distintas difieren estadísticamente ( $p < 0,05$ )

Es importante señalar que esta experiencia se desarrolló bajo adecuadas condiciones de manejo a fin de reducir los efectos del estrés térmico (horarios de pastoreo, acceso a sombra, etc.); tampoco se registraron casos clínicos de empaste, a pesar de no haberse utilizado productos antiespumantes.

Wernli y col. (1986), citados por Jahn y Soto (37), compararon durante 5 años el sistema *soiling* («pastoreo mecánico» o corte y entrega inmediata) versus el pastoreo directo de alfalfa, y encontraron una mayor producción individual de leche con el segundo sistema (5.316 y 5.984 litros lactancia<sup>-1</sup>, respectivamente), explicando esas diferencias en la mayor posibilidad de selección del forraje que se en el pastoreo directo. No detectaron diferencias en la producción de leche por unidad de superficie, cuyos valores promedio fueron de 5.369 y 5.308 litros ha<sup>-1</sup> para el pastoreo directo y el *soiling*, respectivamente. Para finalizar, si bien indicaron que entre recolección y distribución deben asumirse pérdidas de forraje de alrededor del 10 a 15%, sugirieron que el *soiling* puede ser un sistema recomendable para rodeos que superen las 150 vacas (por las distancias a recorrer diariamente) y para aquellos tambos que realicen 3 ordeños diarios. Por el contrario, el conocimiento empírico –aunque carente del necesario sustento metodológico y estadístico- desarrollado en la Argentina permite sugerir que para tambos de rodeos grandes sería más beneficioso el uso del picado del pasto y su distribución en comederos.

Existen diferentes alternativas para implementar un sistema de pastoreo rotativo en franjas. En la EEA Rafaela-INTA se han evaluado algunas de ellas con el objeto de seleccionar aquella que permitiera aumentar la eficiencia de cosecha y la eficiencia de con-

versión alimentaria de vacas lecheras sobre pasturas de alfalfa en primavera-verano. Como lo indican Moran-Fehr y Doreau (45), el estrés calórico que ocurre normalmente durante esta época del año conduce a los animales a una reducción alimentaria ligada a procesos de termorregulación.

Una de esas alternativas evaluadas fue el pastoreo **rotativo en franjas de tiempos de ocupación variables**, asimilables a lo que define el vocablo inglés *paddock*. A fin de mejorar la persistencia de la alfalfa a través de la reducción de la carga animal instantánea, pero sin disminuir la carga media del sistema, Comerón y col. (10, 11) propusieron agrandar las franjas de pastoreo y, paralelamente, aumentar los tiempos de permanencia. Para ello, evaluaron tres tamaños de franja a efectos de permitir ocupaciones de 1, 3 y 5 días a una similar cantidad de animales. Los resultados se exhiben en el Cuadro 5.

Como se observa en el cuadro anterior, mientras el nivel de AP se mantenga constante a través de los diferentes tiempos de ocupación de la franja, la producción total de leche será similar para

**CUADRO 5-** Respuesta de vacas lecheras a tres sistemas de pastoreo rotativo en franjas de tamaño variable en función de tiempos de ocupación de 1, 3 y 5 días. Adaptado de Comerón y col. (10, 11).

Variable	Franja de 1 día de ocupación	Franja de 3 días de ocupación	Franja de 5 días de ocupación
AP (kg MS vaca <sup>-1</sup> )	26	78	130
Producción de leche (l v <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	23,2 <sup>(1)</sup>	23,5 <sup>(2)</sup>	23,9 <sup>(3)</sup>
Eficiencia de cosecha (%)	62	62	60
Carga instantánea (vacas ha <sup>-1</sup> )	127	37	18

<sup>(1)</sup> promedio de 5 días; <sup>(2)</sup> promedio de 3 días, y <sup>(3)</sup> promedio de 5 días

un mismo período. La única diferencia estará dada en la evolución diaria de la producción. Estos resultados fueron también obtenidos por Comerón (9) en vacas lecheras que consumían raigrás perenne altamente fertilizado.

Otra de las alternativas -totalmente opuesta a la precedentemente descrita- es la denominada pastoreo **rotativo en franjas diarias de acceso fraccionado**, también conocida como «subfranjas diarias de pastoreo». En ese contexto, Comerón y col. (20, 21, 22) compararon la respuesta de vacas lecheras a un sistema de franjas diarias con acceso restringido (2 subfranjas) versus acceso completo (Cuadro 6). Aunque no detectaron diferencias en la respuesta animal, observaron un mayor tiempo de pastoreo en aquellos animales afectadas al tratamiento de franjas divididas en dos mitades respecto de la franja completa, con valores de 55 y 42% del tiempo total de observación, respectivamente.

**CUADRO 6 -** Respuesta de vacas lecheras a sistemas de acceso completo (1 día) y fraccionado (1/2 día) a franjas diarias de pastoreo de alfalfa. Adaptado de Comerón y col. (20).

Franja diaria	Acceso completo	Acceso dividido en dos subfranjas
AP (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	25	25
Suplementación (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> ) (*)	5,3	5,3
Acceso a sombra natural y agua	Sí	Sí
Producción de leche (litros vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	24,0	24,5
Consumo de pastura (kg MS vaca día <sup>-1</sup> )	14,1	14,5

(\*) Sin el agregado de antiespumante

En otros ensayos, Comerón y col. (21, 22) evaluaron el impacto del pastoreo en franjas diarias de acceso completo

versus franjas diarias de acceso horario (5 subfranjas) a través de la respuesta de vacas lecheras en lactancia intermedia. En el Cuadro 7 se presentan las características de cada tratamiento y los resultados obtenidos.

**CUADRO 7** – Respuesta de vacas lecheras a sistemas de acceso completo (1 día) y fraccionado por horas (5 subfranjas) a franjas diarias de pastoreo de alfalfa evaluada en dos ensayos distintos (I y II). Adaptado de Comerón y col. (21, 22).

Franja diaria	Acceso completo	Acceso dividido por horas (5 subfranjas)
<b>ENSAYO I</b>		
AP (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> ) (*)	25,8 (20,8 a 32,0)	
Suplementación (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> ) (**)	2,75	
Acceso a sombra natural y agua	No	
Producción de leche (litros vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	23,74	24,55
Consumo de pastura (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	15,9	16,1
<b>ENSAYO II</b>		
Asignación de pastura (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	21,1	20,0
Suplementación (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> ) (**)	5,2	
Acceso a sombra natural y agua	Sí	
Producción de leche (litros vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	22,0	22,2
Consumo de pastura (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	14,1	14,3

(\*) Niveles de asignación variables ; (\*\*) con el agregado de un antiespumante

En ninguna de las dos experiencias, realizadas bajo diferentes condiciones de manejo, se encontraron diferencias significativas tanto en la producción de leche como en el consumo de forraje. Tampoco se detectaron interacciones entre la respuesta animal y los factores climáticos, de manejo (AP) y de calidad de la pastura. En otro ensayo de similares características, Comerón y col. (23) tampoco observaron diferencias productivas respecto del tiempo de pastoreo entre franjas diarias de acceso completo y de acceso restringido por horas.

La falta de respuesta animal a manejos más intensivos de la pastura también fue señalada por Dalley y col. (31), quienes condujeron un experimento conceptualmente similar al realizado por Comerón y col. (21, 22), pero utilizando vacas en lactancia temprana, pasturas de gramíneas (fundamentalmente raigrás) y dividiendo la franja de pastoreo en 6 subfranjas repartidas durante el día.

En contraposición a los trabajos anteriores, Jahn y Soto (37) recomendaron que dos o más cambios diarios son necesarios para aumentar la eficiencia de utilización de la alfalfa, debido a que las pérdidas por pisoteo disminuyen considerablemente.

Teniendo en cuenta que durante el verano -y en especial en los días de marcado estrés calórico- el tiempo de pastoreo diurno disminuye considerablemente, Comerón y col. (30) evaluaron el efecto de un aumento en la velocidad de cosecha del forraje sobre



la mejora en el consumo de vacas en pastoreo de alfalfa manejadas con un alto nivel de AP. Para ello, propusieron el **pastoreo de forraje cortado y acumulado en andanas con tiempo de preoreo corto** y lo compararon con el pastoreo de la alfalfa en pie. Los resultados, si bien preliminares, indicaron que la producción de leche fue mayor en los animales que consumían la pastura en pie que la de los que consumieron el forraje cortado-preoreado, con valores de 25,56 y 22,60 litros vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, respectivamente. Cabe aclarar que estos animales tenían acceso libre a sombra natural y agua fresca, y fueron suplementados con 4,4 kg vaca<sup>-1</sup> de un concentrado energético que contenía un antiespumante. Como se indicara anteriormente (37, 52), la ventaja del pastoreo en pie radica en la mayor posibilidad que los animales tienen para seleccionar su alimento.

Otra alternativa para la implementación de un esquema de pastoreo rotativo es el sistema de **líderes y seguidores (LS)**, que consiste en utilizar dos rodeos de animales para pastorear, de manera desfasada, una misma franja de pastura. De este modo, el lote de «seguidores» accede a cada franja una vez que ya fue consumida por el lote de «líderes». En la EEA Rafaela-INTA se condujeron varios ensayos de evaluación de este sistema, aunque considerando básicamente dos variantes del mismo:

a) *Rodeos constituidos por vacas en producción según el momento de la lactancia.* En una primera experiencia, Comerón y col. (24, 25) compararon la respuesta animal del sistema tradicional (un solo rodeo) *versus* el sistema LS, donde el grupo líder estaba constituido por vacas de primer tercio de lactancia (40 días) y el grupo seguidor por vacas de segundo tercio (160 días). Se empleó una AP de 23 kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> como «media teórica» para ambos sistemas, y los animales recibieron, además de un antiespumante, una suplementación de 5,75 y 2,0 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para el primer y segundo tercio de lactancia, respectivamente. Los resultados del ensayo se presentan en el Cuadro 8.

Si bien prácticamente no se detectaron diferencias entre los dos sistemas para los valores medios de respuesta animal (consumo de forraje y producción de leche), se aprecia que dentro del sistema LS la reducción de la producción láctea del subrodeo seguidor (-1,4 litros) no pudo ser totalmente compensada por el aumento registrado en el subrodeo líder (+ 0,9 litros).

**CUADRO 8** - Respuesta animal a dos sistemas de pastoreo rotativo en franjas: tradicional (un único rodeo) y líderes-seguidores o LS (dos rodeos). Los grupos líder y seguidor se compusieron de vacas de 40 y 160 días de lactancia, respectivamente. Adaptado de Comerón y col. (24, 25).

Sistema de pastoreo	Consumo de pastura (kg MS v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	Eficiencia de cosecha (%)	Producción de Leche (l v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	
			Media del sistema	Según tercio de lactancia Primero- Segundo
Tradicional	15,2	69,3	23,58	25,1 22,0
Líder-Seguidor	16,3- 15,2	67,1 <sup>(1)</sup>	23,41	26,2- 20,6

<sup>(1)</sup> Las eficiencias parciales de cosecha en cada subrodeo del sistema LS fueron 35,8 y 48,8% para el líderes y el seguidores, respectivamente.

En una segunda experiencia, Comerón y col. (26, 27) repitieron el ensayo anterior pero utilizando en el sistema LS vacas de segundo tercio de lactancia (120 días) como subrodeo líder y de tercer tercio (240 días) como subrodeo seguidor. En esta experiencia, la AP fue de 29,5 kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> como «media teórica» para ambos sistemas y, además de un antiespumante, los animales recibieron una suplementación promedio de 2,5 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Los resultados de la evaluación se resumen en el Cuadro 9.

**CUADRO 9** - Respuesta animal a dos sistemas de pastoreo rotativo en franjas: tradicional (un único rodeo) y líderes-seguidores o LS (dos rodeos). Los grupos líder y seguidor se compusieron de vacas de 120 y 240 días de lactancia, respectivamente. Adaptado de Comerón y col. (26, 27).

Sistema de pastoreo	Consumo de pastura (kg MS v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	Eficiencia de cosecha (%)	producción de Leche (l v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	
			Media del sistema	Según tercio de lactancia Segundo – Tercero
Tradicional	15,7	56,8	20,93	22,78 – 19,09
Líder-Seguidor	18,6– 14,2	56,9 <sup>(1)</sup>	21,91	24,94 – 18,86

<sup>(1)</sup> Las eficiencias parciales de cosecha en cada subrodeo del sistema LS fueron 46,8 y 38,0% para líderes y el seguidores, respectivamente.

Al igual que en la experiencia anterior (24, 25), en este otro ensayo no se detectaron diferencias significativas en el plano de respuesta animal con la aplicación del sistema LS. Esto es coincidente con lo que ya habían informado Archi-bald y col. (1) trabajando con pasturas de raigrás perenne.

Es probable que la falta de respuesta productiva al sistema de pastoreo LS se pueda explicar, en gran medida, por las diferencias de potencial productivo del grupo líder y por la cantidad y calidad de la pastura que recibe el grupo seguidor. En ese sentido, debe recordarse que el valor nutritivo de la planta de alfalfa se reduce fuertemente desde la mitad de la planta hacia el nivel de suelo (Figura 2).

En pasturas de raigrás perenne, y sin la utilización de suplementos, Mayne y col. (43) registraron diferencias productivas a favor del sistema LS respecto del sistema control o tradicional (un rodeo). En este caso, la conformación de los subrodeos en el sistema LS se realizó según el potencial productivo de los animales, que se había determinado previamente con dietas que incluían silaje de gramíneas y 7 kg vaca<sup>-1</sup> de concentrado. De esta manera, la definición de los grupos líder (alto potencial) y seguidor (bajo potencial) se hizo con total independencia del momento de la lactancia de las vacas; en consecuencia, los dos subrodeos tenían similar cantidad de días desde el parto. Sería muy interesante evaluar esta variante del sistema LS sobre pasturas de alfalfa.

*b) Rodeos constituidos por vacas en producción (líderes) y secas (seguidoras).* Independientemente de los resultados comentados en el punto anterior, la implementación del sistema LS con vacas en producción trae aparejado tantos problemas operativos a nivel de potrero que su empleo práctico se ve generalmente desalentado. En función de ello, Comerón y col. (28, 29) sugirieron una variante del sistema LS donde los grupos líder y seguidor son definidos por la asignación a cada uno de vacas lecheras en producción y secas, respectivamente. De esta manera, se busca mejorar la eficiencia de cosecha de la pastura de alfalfa durante el período estival sin afectar la producción animal individual. En ese contexto, condujeron un ensayo en el que compararon un sistema de manejo tradicional y una variante del sistema LS. El manejo *tradicional* incluía dos lotes de vacas (en ordeño y secas) que accedían separadamente a nuevas franjas cada día de pastoreo. La variante del sistema de *líderes-seguidores* suponía dos lotes de vacas que accedían, en forma secuencial y durante dos días, a una única franja de pastoreo; el lote líder estaba compuesto por vacas en ordeño, que ingresaban cada día en una nueva franja de pastura, y el lote seguidor se componía de vacas secas, que accedían a la franja dejada por los líderes el día anterior. En el Cuadro 10 se presentan los resultados del ensayo.

**CUADRO 10** - Respuesta animal a dos sistemas de pastoreo rotativo en franjas para vacas lecheras en ordeño y secas: Tradicional (dos rodeos independientes) y de Líderes-Seguidores en forma secuencial (grupo líder = vacas en ordeño que pastorean franjas nuevas cada día y grupo seguidor = vacas secas que pastorean al día siguiente las franjas que dejan los líderes). Adaptado de Comerón y col. (28, 29)

Sistema de pastoreo (lotes de vacas)	Asignación de pastura(kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	Superficie asignada (m <sup>2</sup> vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	Consumo de pastura (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	Eficiencia de cosecha (%)	Producción de leche (litros vaca <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
<b>Tradicional</b>					
Vacas en ordeño	13,3	87,8	9,8	73	26,02 a
Vacas secas	9,8	64,5	7,3	73	
<b>Líder-Seguidor</b>					
Vacas en ordeño	20,8	122,5	13,4	89 <sup>(2)</sup>	28,45 b
Vacas secas	8,6 <sup>(1)</sup>	136,1	6,0		

<sup>(1)</sup>Valor resultante de la biomasa no aprovechada por los animales del grupo líder.

<sup>(2)</sup>Las eficiencias de cosechas parciales fueron de 64 y 68% para el lote de vacas en ordeño y vacas secas, respectivamente

NOTA : Los animales en ordeño recibieron 6 kg de concentrado día<sup>-1</sup> y un antiespumante.

La conclusión del trabajo fue que, bajo condiciones de carga media a alta, la división del rodeo entre vacas en producción y vacas secas dentro del sistema de pastoreo de líderes-seguidores, permite una mayor eficiencia de cosecha de la pastura al tiempo que mantiene un aceptable nivel de consumo en los animales en ordeño a fin de no afectar su producción ni su condición corporal.

## Ventajas y limitantes del sistema pastoril base alfalfa en vacas lecheras

En la comunidad científica internacional existe un fuerte consenso respecto de que el sistema de alimentación en confinamiento, con raciones totalmente mezcladas (o *TMR* por sus siglas en inglés), permite mayores niveles de consumo y producción individual que las dietas sólo pastoriles, a las que es usual considerarlas nutricionalmente desbalanceadas e incompletas. Sin embargo, esta aseveración no es necesariamente válida para todos los casos y debe ser aplicada con cautela. En efecto, hay sistemas pastoriles que pueden llegar a sostener esquemas productivos constituidos por vacas de potenciales genéticos que llegan a los casi 6.000 litros de leche por lactancia (corregido a 300 días) y de buenos índices reproductivos y de evolución de la condición corporal.

En condiciones tropicales, Vilela y col. (58) midieron una respuesta productiva muy similar -excepto en las primeras 10 semanas- entre vacas que consumían exclusivamente alfalfa, usada bajo un sistema de pastoreo rotativo (carga de 3,1 vacas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), y vacas en confinamiento que recibían una dieta *TMR* en un galpón del tipo *free-stall* (Cuadro 11).

En ese trabajo también se establece que para aquellos sistemas exclusivamente basados en la utilización de pasturas de alfalfa, se pueden obtener producciones promedio de 20 litros de leche vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> y 51,3 litros ha vaca ordeño<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (alrededor de 12.600 litros ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> si se consideran sólo las 35 semanas de período de pastoreo y medición

**CUADRO 11** - Promedios diarios de producción y consumo de vacas Holando bajo dos sistemas de alimentación (pastoril y estabulado) evaluadas durante 35 semanas de lactancia. Adaptado de Vilela y col. (58).

Respuesta animal	Alimentación pastoril (100% alfalfa)	Alimentación Estabulada (TMR a voluntad) <sup>(1)</sup>
Producción de leche (litros vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	20,0	20,9
% de grasa butirosa (GB)	3,5 x	4,1 y
Producción leche corregida 4% GB <sup>-1</sup> (l v d <sup>-1</sup> )	18,6 a	21,2 b
Consumo de alimentos (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	16,4	16,9
Variación de peso vivo (kg vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	0,332	0,116

<sup>(1)</sup> TMR = siglas en inglés de "ración totalmente mezclada".

Valores seguidos de letras distintas en cada fila difieren significativamente al 5% (a, b) o 10% (x, y).

del ensayo), sin comprometer el peso vivo ni la eficiencia reproductiva (medida como período parto-servicio) de los animales.

En cuanto a la respuesta económica, expresada en U\$S vaca<sup>-1</sup>, los autores determinaron que el sistema pastoril tuvo un costo operativo casi 10% menor y un margen bruto 16% superior respecto del sistema en confinamiento con TMR. En ese sentido, también Scott (55), realizando un estudio comparativo de diferentes sistemas de producción láctea en el mundo, señaló que -aún en regiones donde el uso de la tierra es intensivo- el pastoreo manejado en forma adecuada tiene una función importante en la reducción de los costos de producción.

En Argentina, Comerón y col. (18, 19) evaluaron durante la lactancia intermedia la respuesta de vacas de razas Jersey (J) y Holando (H), de similar mérito genético, sometidas a dos sistemas

de alimentación: 1) Pastoril, exclusivamente sobre pasturas de alfalfa con AP de 20,0 y 26,2 kg MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para J y H, respectivamente; y 2) A Corral, con una mezcla de henolaje de alfalfa, silaje de maíz, semilla de algodón y balanceado comercial (17% PB). Los resultados se presentan en el Cuadro 12.

**CUADRO 12** – Respuesta de vacas de las razas Holando y Jersey, de similar potencial genético de producción, sometidas a dos sistemas de alimentación: exclusivamente pastoril (pastura de alfalfa) y a corral (varios componentes). Se ofrecen los valores promedio de respuesta por sistema de alimentación y por raza dentro de cada sistema. Adaptado de Comerón y col. (18, 19).

Respuesta animal	Sistema de alimentación		Sistema "pastoril"		Sistema "a corral"	
	Pastoril	A corral	Jersey	Holando	Jersey	Holando
Leche (litros vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	17,95	20,15	14,89	21,00	16,35	23,96
Grasa butirosa (%)	4,24 a	4,83 b	5,16	3,32	5,72	3,93
Proteína bruta (%)	3,49	3,62	3,81	3,17	4,05	3,20
Consumo (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )			14,3	18,1	14,8	18,9
Eficiencia conversión del alimento (litros kg MS <sup>-1</sup> )			1,04	1,16	1,10	1,27

Valores seguidos de letras distintas difieren estadísticamente (p < 0,05).

Si bien se apreció una tendencia a obtener menores valores de producción de leche y proteína bruta con el sistema pastoril, esas diferencias -independientemente de la raza- no llegaron a ser estadísticamente significativas, como sí lo fueron en el contenido de grasa butirosa. No se detectó interacción raza \* sistema de alimentación, lo que indica que tanto las vacas Holando como las Jersey respondieron de manera similar a las dife-

rentes dietas. Aunque no significativa, se observó también una tendencia a mejorar la eficiencia de conversión con la dieta a corral en ambas razas.

En un trabajo anterior, Comerón y col. (17) habían evaluado en la EEA Rafaela-INTA la eficiencia de un módulo real de producción de leche –identificado como UPLO- que utilizaba vacas Holando de parición invernal (julio y agosto) sometidas a un manejo alimentario basado exclusivamente en pasturas de alfalfa, con el uso ocasional de heno y/o henolaje proveniente del mismo sistema. La información generada se resume en el Cuadro 13.

**CUADRO 13** – Características más importantes del sistema pastoril de producción de leche de la EEA Rafaela-INTA (módulo UPLO) y respuesta de vacas Holando con pariciones estacionadas en invierno. Adaptado de Comerón y col. (17).

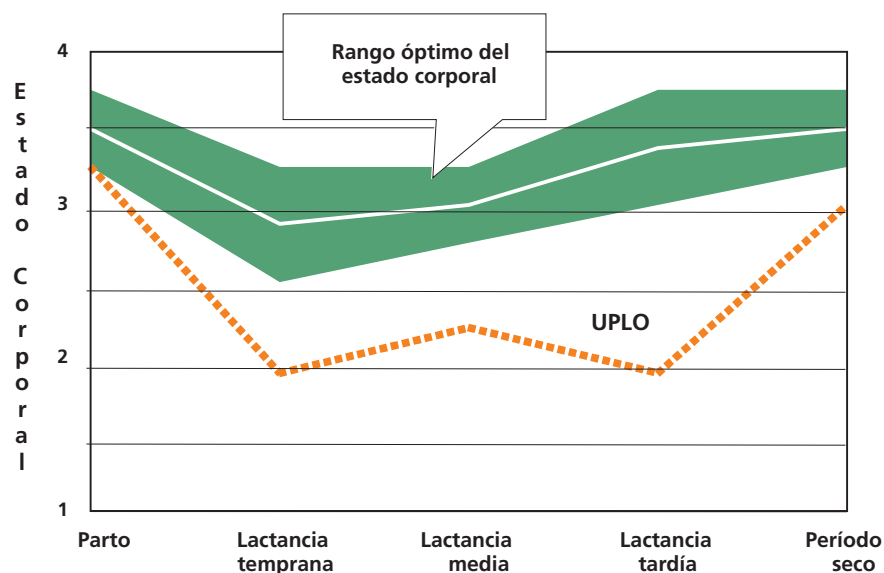
CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PASTORIL	Valores
Asignación de pastura (kg MS <sup>-1</sup> vaca día <sup>-1</sup> )	22,5 ± 4,1
Superficie asignada (m <sup>2</sup> vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	139 ± 23
Sistema de pastoreo rotativo con franjas a tiempo variable (días franja)	1/2 a 2
Eficiencia de cosecha (%)	74
Consumo de heno y henolaje de alfalfa (kg vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	0,720
Carga animal (vacas totales ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	1,68
<b>RESPUESTA ANIMAL</b>	
Producción individual	
■ Litros vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	20,9
■ Litros lactancia <sup>-1</sup> ajustada a 300 días	6.270
Modelo de curva de lactancia : $Y = a * b^x * \exp(-c * x)$ siendo Y = producción diaria, x = producción semanal y "a"; "b" ; "c" cuyos valores se indican respectivamente en la columna contigua	24,7; 0,154; -0,031
Contenidos de GB <sup>(1)</sup> y PB <sup>(2)</sup> (g litro <sup>-1</sup> )	34,9 y 31,0
Productividad (litros de leche ha vaca total <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	10.534
Eficiencia reproductiva :	
a. tasa de concepción al 1 <sup>er</sup> y 2 <sup>do</sup> servicio (%)	18 y 33
b. tasa de concepción nula al 3 <sup>er</sup> servicio (%)	16
c. tasa de concepción general (%)	21
d. índice de inseminación	4,8

<sup>(1)</sup> GB = grasa butirosa y <sup>(2)</sup> PB = proteína bruta

El análisis de los datos del Cuadro 11 revela que no obstante haberse obtenido productividades de leche elevadas, la eficiencia reproductiva fue muy baja. Se asume que esto último es principalmente consecuencia de la pérdida de la condición corporal posparto, como se ilustra en la Figura 8. Por lo tanto, se concluye que el modelo propuesto no es sustentable en el corto plazo, ya que el planteo alimenticio definido resultó inadecuado para el nivel de carga animal utilizado, lo que provocó un balance energético negativo muy prolongado que afectó a las vacas.



Estos resultados de Comerón y col. (17) difieren significativamente de los presentados en el ya comentado trabajo de Vilela y col. (58). Independientemente del análisis que pueda hacerse sobre los factores que expliquen esas diferencias, es interesante resaltar que la información ofrecida por Vilela y col. es incompleta, dado que obvia describir lo ocurrido durante las primeras diez semanas de lactancia, lo que pudo haber tenido una influencia decisiva en la posterior respuesta animal.



**FIGURA 8** - Valor medio (línea blanca) y rango (zona sombreada) óptimos de condición corporal de vacas lecheras a lo largo del ciclo productivo y evolución de la condición corporal registrada en el módulo UPLO (línea punteada) de la EEA Rafaela-INTA con parición invernal. Escala de condición corporal de 1 = flaca a 5 = gorda. Adaptado de Comerón y col. (17).

## Consideraciones finales

La correcta planificación y presupuestación de los recursos alimentarios es la base para que los sistemas de producción de leche sean productiva y económicamente eficientes, sostenibles en el tiempo y competitivos respecto de otras actividades. En el ámbito nacional, y haciendo abstracción de los diferentes resultados que puedan obtenerse ante distintas situaciones, la norma general es que la utilización de la pastura de alfalfa para la producción lechera debe considerarse dentro de un contexto más completo de estrategia alimentaria, donde se aprovechen las ventajas comparativas del país respecto del uso de reservas forrajeras (silaje de maíz o sorgo), cereales y subproductos agroindustriales.

La abundante información generada no sólo por la EEA Rafaela-INTA sino también por numerosas explotaciones comerciales, permite afirmar que los sistemas de producción lechera desarrollados sobre pasturas de alfalfa -y definidos como «pastoriles con suplementación estratégica» - permiten alcanzar productividades superiores a los 10.000 litros de leche ha vaca total<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, como consecuencia de producciones individuales de 7.000 a 7.500 litros lactancia<sup>-1</sup> y una carga animal de casi 2,0 vacas totales ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Es obvio que esos altos niveles productivos se logran, en una gran proporción, aplicando de manera correcta las correspondientes tecnologías de proceso.

Como se ha señalado en el desarrollo de este capítulo, la alfalfa utilizada en pastoreo directo o picada (*soiling*) reduce los costos operativos y minimiza las pérdidas por conservación. Sin embargo, no siempre es sencillo armonizar esta estrategia de uso de la pastura con un adecuado estado nutricional del rodeo, a fin de asegurar el necesario

equilibrio entre respuesta animal y productividad y persistencia del cultivo. Por otro lado, los cambios en el valor nutritivo de la alfalfa no sólo en sus diferentes estratos sino también a lo largo del año, y la gran variabilidad de calidad aun para un mismo estado fenológico y estación del año, hacen que la formulación de raciones correctamente balanceadas tampoco sea una tarea fácil, particularmente cuando se emplean vacas de alto potencial productivo.

## Bibliografía

1. ARCHIBALD, K. A. E., R. C. CAMPLING and W. HOLMES. 1975. Milk production and herbage intake of dairy cows kept on a leader and follower grazing system. *Animal Production* 21: 147-156.
2. BARGO, F., L. D. MULLER, J. E. DELAHOY y T. W. CASSIDY. 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.* 85: 1777-1792.
3. BARGO, F., L. D. MULLER, E. S. KOLVER and J. E. DELAHOY. 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.* 86: 1-42.
4. BARIGGI, C., N. ROMERO, M. ZANELLI, A. CRAGNAZ y R. ROSSANIGO. 1979. Efecto del período de pastoreo, descanso y largo del ciclo de utilización en la productividad y longevidad de la alfalfa. Proyecto PNUD-FAO-INTA Arg. 75/006. Documentos de trabajo 5 (83 p.) y 7 (38 p). Bs. As, Argentina.
5. BROWNLE, H. 1973. Effects of four grazing management systems on the production and persistence of dryland lucerne in Central-Western New South Wales. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 13: 259-262.
6. CANGIANO, C., J. GALLI, M. PECE and L. DICHIO. 2002. Effect of liveweight and pasture height on cattle bite dimensions during a progressive defoliation. *Aust. J. of Agric. Res.* 53 (5): 541-549.
7. CASTILLO, A. R., O. E. MELO y G. C. BOETTO. 1998. Cálculo de requerimientos energéticos y proteicos del ganado bovino lechero. EUDECOR SRL (2da edición). Córdoba, Argentina, 104 p.
8. CASTRO, H. C., M. R. GALLARDO, M. C. GAGGIOTTI y O. R. QUAINO. 1993. Pastoreo de alfalfa (*Medicago sativa* L.). 1. Efecto de la oferta forrajera diaria sobre la producción y composición química de la leche. *Rev. Arg. Prod. Animal* 13 (Supl.1): 1.
9. COMERON, E. A. 1991. Estimation des quantités ingérées par des vaches laitières au pâturage : Influence des caractéristiques des animaux. Influence de la quantité et de la structure de l'herbe offerte. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas de la Université de Rennes I (Francia), 180 p.
10. COMERON, E. A., L. A. ROMERO, N. A. A. ANDREO y O. A. BRUNO. 1993a. Sistema de pastoreo rotativo en vacas lecheras. Efecto del tiempo de permanencia. INTA EEA Rafaela. Informe para Extensión 112, 4 p. .
11. COMERON, E. A., L. A. ROMERO, N. A. A. ANDREO y O. A. BRUNO. 1993b. Sistema de pastoreo rotativo. Efecto del tiempo de permanencia. XIII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal, Santiago (Chile). *Ciencia e Investigación Agraria* 20 (2): 26 (Mayo Agosto).
12. COMERON, E. A., L. A. ROMERO, J. L. PEYRAUD, O. A. BRUNO and L. DELABY. 1995. Effects of herbage allowance on performances of dairy cows grazing alfalfa swards. IV Symposium International sur la Nutrition des Herbivores, Theix (Francia). *Annales de Zootechnie* 44 (Supl 1): 368.
13. COMERON, E. A., L. A. ROMERO, O. A. BRUNO y M. C. DÍAZ. 1995. Efecto del nivel de asignación de pasturas de alfalfa sobre la respuesta de vacas lecheras. 2. Producción y composición de la leche. Resúmenes XIV Reunión Latinoamericana de Producción Animal y XIX Congreso Argentino de Producción Animal. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 15 (2): 627-629.
14. COMERON, E. A., L. A. ROMERO y O. A. BRUNO. 1997a. Consecuencias de la carga animal sobre la pastura de alfalfa en un sistema de pastoreo rotativo en franjas diarias. EEA Rafaela-INTA. *Publicación Miscelánea* 84: 26-28.

15. COMERON, E. A., L. A. ROMERO y O. A. BRUNO. 1997b. Efecto del nivel de carga animal sobre la pastura de alfalfa en un sistema de pastoreo rotativo. Rev. Arg. Prod. Anim./Resúmenes I Congreso Binacional de Producción Animal-XXI Congreso Argentino de Producción Animal y II Congreso Uruguayo, p. 82.
16. COMERON, E. A. 2000. La producción orgánica certificada. Leche y productos lácteos bovinos. Publicación Interna de Divulgación. EEA Rafaela-INTA, 96 p.
17. COMERON, E. A., M. MACIEL, L. A. ROMERO y A. CUATRIN. 2001. Desempeño productivo y reproductivo de un rodeo lechero Holstein en condiciones de alimentación pastoril. XXIV Congreso Argentino de Producción Animal, Rafaela, Santa Fe. Rev. Arg. Prod. Animal 21(Supl. 1): 226-227.
18. COMERON, E. A., M. S. ARONNA, L. A. ROMERO y M. MACIEL, 2002. Respuesta productiva de vacas de raza Jersey y Holando en dos sistemas de alimentación. 1.- Comportamiento alimentario. Rev. Arg. Prod. Animal 22 (Supl.1): 40.
19. COMERON, E. A., L. A. ROMERO, M. S. ARONNA, V. CHARLON, O. A. QUAINO y C. VITULICH. 2002. Respuesta productiva de vacas de raza Jersey y Holando en dos sistemas de alimentación. 2.- Producción y composición química de la leche. Rev. Arg. Prod. Animal 22 (Supl.1): 41.
20. COMERON, E. A., M. MORETTO, M. S. ARONNA, L. A. ROMERO y A. CUATRIN. 2002c. Pastoreo rotativo diario con ingreso de vacas lecheras en franjas de medio día de permanencia. Rev. Arg. Prod. Animal 22 (Supl. 1): 130.
21. COMERON, E. A., M. MORETTO, M. S. ARONNA, L. A. ROMERO y A. CUATRIN. 2002d. Intensificación del sistema de pastoreo rotativo en franjas diarias convacas lecheras. 1.- Sin acceso a sombra natural y con nivel de asignación variable. Rev. Arg. Prod. Animal 22 (Supl. 1): 131.
22. COMERON, E. A., M. MORETTO, M. S. ARONNA, L. A. ROMERO y A. CUATRIN. 2002e. Intensificación del sistema de pastoreo rotativo en franjas diarias con vacas lecheras. 2- Con acceso a sombra natural y nivel de asignación forrajera similar. Rev. Arg. Prod. Animal 22 (Supl. 1): 131.
23. COMERON, E. A., M. A. MORETTO, R. A. STRASSER, M. S. AHORNA y L. A. ROMERO. 2003. Comportamiento ingestivo diurno de vacas lecheras en un sistema de pastoreo rotativo de franjas diarias. Rev. Arg. Prod. Animal 23 (Supl.1): 102.
24. COMERON, E. A., M. S. ARONNA, M. ROGGERO, N. BRIZZI, M. V. ZBRUN y L. A. ROMERO. 2003. Sistema de pastoreo de líderes-seguidores con vacas lecheras a dos niveles de suplementación. 1. Consumo. Rev. Arg. Prod. Animal 23 (Supl.1): 103.
25. COMERON, E. A., M. S. ARONNA, M. ROGGERO, N. BRIZZI, L. A. ROMERO y A. CUATRIN. 2003. Sistema de pastoreo de líderes-seguidores con vacas lecheras a dos niveles de suplementación. 2. Producción y composición de la leche. Rev. Arg. Prod. Animal 23 (Supl.1): 105.
26. COMERON, E. A., M. S. ARONNA, M. IRUSTA, L. CORVOISIER, F. DIAZ y L. A. ROMERO. 2003. Pastoreo con vacas lecheras líderes-seguidoras a similar nivel de suplementación. 1. Condiciones del pastoreo y consumo. Rev. Arg. Prod. Animal 23 (Supl.1): 106.
- 27.- COMERON, E. A., M. S. ARONNA, M. IRUSTA, L. CORVOISIER, L. A. ROMERO y A. CUATRIN. 2003e. Pastoreo con vacas lecheras líderes-seguidoras a similar nivel de suplementación. 2. Producción y composición de leche. Rev. Arg. Prod. Animal 23 (Supl.1): 107.
28. COMERON, E. A., A. ALESSO y L. A. ROMERO. 2004a. Sistema de pastoreo de líderes y seguidores con vacas lecheras en producción y secas. 1.- Condiciones del pastoreo y consumo de pastura. Rev. Arg. Prod. Animal 24 (Supl.1): 20.
29. COMERON, E. A., A. ALESSO, M. GAGGIOTT y O. A. QUAINO. 2004b. Sistema de pastoreo de líderes y seguidores con vacas lecheras en producción y secas. 2.- Producción y composición de la leche, condición corporal y peso vivo. Rev. Arg. Prod. Animal 24 (Supl.1): 22.
30. COMERON, E. A., J. PARDO, A. BERTINATTI y M. IZAGUIRRE PONS. 2005. Pastoreo de alfalfa en andanas con tiempo de preoreo corto. Rev. Arg. Prod. Animal 25 (Supl. 1) (*en prensa*).
31. DALLEY, D. E., J. R. ROCHE, P. J. MOATE and C. GRAIGNER. 2001. More frequent allocation of herbage does not improve the milk production of dairy cows in early lactation. Aust. J. Exp. Agric. 41: 593-599.
32. DALLEY, D. E., J. R. ROCHE, C. GRAINGER and P. J. MOATE. 1999. Dry matter intake, nutrient selection and milk production of dairy cows grazing rainfed perennial pastures at different herbage allowances in spring. Aust. J. Exp. Agric. 39: 923-931.
33. FAVERDIN, Ph. 1992. Comparación des différents méthodes de prédiction des quantités ingerées. INRA Editions. Productions Animales 5 (4): 271-282.

34. GAGGIOTTI, M. C., L. A. ROMERO, O. A. BRUNO, E. A. COMERON y O. R. QUAINO. 1996. Tabla de composición química de los alimentos. INTA (publicaciones ocasionales). Centro Regional Santa Fe-EEA Rafaela. Editorial Perfil, 66 p.
35. GALLI, J. y C. CANGIANO. 1998. Relación entre la estructura de la pastura y las dimensiones del bocado y sus implicancias en el consumo en bovinos. *Rev. Arg. Prod. Animal* 18 (3): 247-261.
36. JAHN, E. 1994. Utilización de la alfalfa en producción de leche. *Anais de Workshop sobre o potencial forrageiro da alfafa (Medicago sativa L.) nos trópicos. Juiz de Fora (Brasil). EMBRAPA-CNPGL*, p. 201.
37. JAHN, E. y P. SOTO. 2000. Utilización de alfalfa en fresco. *In* P. Soto (ed.) *Alfalfa en la zona centro sur de Chile. Colección Libros INIA N° 4. Chillán (Chile)*, pp. 205-221.
38. JAHN, E., A. VIDAL, P. SOTO y J. CURILEMU. 1992. Pastoreo de alfalfa con vacas lecheras. *Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu (IPA) N° 54*: 25.
39. JAHN, E., A. VIDAL, F. BAEZ, P. SOTO y S. ARREDONDO. 2002. Utilización de alfalfa (*Medicago sativa L.*) en tres estados de madurez y dos residuos con vacas en lactancia a pastoreo. *Agricultura Técnica (Chile)* 62 (1) : 99-109.
40. LEAVER, J. D. 1985. Milk production from grazed temperate grassland. *J. Dairy Res.* 52: 313-344.
41. LEACH, G. J. 1970. Growth of the lucerne plant after defoliation. *In*: M. J. T. Norman (ed.) *Proc. 11<sup>th</sup> International Grassland Congress, St. Lucia, Queensland, Australia*, pp. 562-566.
42. MAYNE, C. S. and I. A. WRIGHT. 1988. Herbage intake and utilization by grazing dairy cow. *In*: P. C. Garnsworthy (ed.) *Nutrition and Lactation in the Dairy Cow*. Ed. Butterworths, London, UK, 280 p.
43. MAYNE, C. S., R. D. NEWBERRY, S. C. F. WOODCOCK and R. J. WILKINS. 1987. Effect of grazing severity on grass utilization and milk production of rotationally grazed dairy cows. *Grass and Forage Science* 42: 59-72.
44. MCGILLOWAY, D. A. and C. S. MAYNE. 1996. The importance of grass availability for the high genetic merit dairy cow. *In*: P. C. Garnsworthy, J. Wiseman and W. Haresign (eds.) *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham University Press, UK, Cap. 8, pp. 135-169.
45. MORAN-FEHR, P. et M. DOREAU. 2001. Ingestión et digestión chez les ruminants soumis á un stress de chaleur. *INRA. Prod. Anim.* 14 (1): 15-27.
46. NEAL, H. D. St. C., C. THOMAS and J. M. COBBY. 1984. Comparisons of equations for predicting voluntary intake by dairy cow. *J. Agric. Sci. Camb.* 103: 1-10.
47. PEART, G.R. 1968. A comparison of rotational grazing and set stocking of dryland lucerne. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 7: 110-113.
48. PEYRAUD, J. L., E. A. COMERON, M. H. WADE and G. LEMAIRE. 1996. The effect of daily herbage allowance, herbage mass and animal factors upon herbage intake by grazing dairy cows. *Annales de Zootechnie* (45): 201-217.
49. POPPI, D. P., T. P. HUGHES and P. J. L'HUILLIER. 1987. Intake of pasture by grazing ruminants. *In*: *Livestock Feeding on Pasture*. NZ Soc. Anim. Prod. Occ. Publ. N° 10. Ruakura Agric. Center, Hamilton, NZ, 55 p..
50. ROMERO, N. A., E. A. COMERON y E. USTARROZ. 1995 a. Crecimiento y utilización de la alfalfa. *In*: E. H. Hijano y A. Navarro (eds.) *La Alfalfa en la Argentina, Capítulo 8*. INTA. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, pp. 150-170.
51. ROMERO, L. A., E. A. COMERON, O. A. BRUNO y M. C. DIAZ. 1995 b. Efecto del nivel de asignación de pasturas de alfalfa sobre la respuesta de vacas lecheras. 1. Consumo y comportamiento ingestivo. *Resúmenes XIV Reunión Latinoamericana de Producción Animal y XIX Congreso Argentino de Producción Animal. Rev. Arg. Prod. Animal* 15 (2): 623-626.
52. ROMERO, L. A., E. A. COMERON y O. A. BRUNO. 1998. Evaluación de diferentes métodos de utilización de una pastura de alfalfa para vacas lecheras. *Resúmenes XXII Congreso Argentino de Producción Animal, Río Cuarto (Córdoba). Rev. Arg. Prod. Animal* 118 (Supl. 1): 166-167.
53. ROMERO, L. A., E. A. COMERON y O. A. BRUNO. 1999. Comparación de diferentes métodos de utilización de una pastura de alfalfa con vacas lecheras. INTA, EEA Rafaela, Publicación Miscelánea N° 89: 3-4.
54. ROMERO, L. A., R. E. GIORGI, R. A. TOSOLINI, V. I. SAPINO, D. C. GIAILEVRA, D. A. ZAPATEIRO, E. A. COMERON y O. QUAINO. 2000. Pérdidas en pasturas de alfalfa asociadas a encharcamientos. *Rev. Arg. Prod. Animal* 20 (Supl. 1): 221.

55. SCOTT, J. D. C. 1983. Efficiency of dairying under contrasting feeding and management systems in North American, Israel, Europe and New Zealand. Proc. 14<sup>th</sup> International Grassland Congress. Lexington, Kentucky (USA), p. 243.
56. SOTO, P. and E. JAHN. 1993. Use of irrigated lucerne in different growth stages. Evaluation under cutting. Proc. 18<sup>th</sup> International Grassland Congress. New Zealand Grassland Association, Palmerston North, New Zealand, p. 869.
57. SOTO, P., E. JAHN, H. ACUÑA and C. OVALLE. 1993. Pasture productivity of different species evaluated under grazing in the Central Valley of Chile. Proc. 18<sup>th</sup> International Grassland Congress. New Zealand Grassland Association, Palmerston North, New Zealand, p. 868.
58. VILELA, D., A. C. COSER, M. de F. AVILA PIRES, H. V. MALDONADO, O. F. de CAMPOS, R. S. LIZIEIRE, J. C. RESENDE e C. E. MATINS, 1994. Comparação de um sistema de pastejo rotativo em alfafa (*Medicago sativa* L.) com um sistema de confinamento para vacas de leite. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 2 (1): 69-84.





# Suplementación en pasturas de alfalfa para la producción de carne

*Ing. Agr. (MSc) Marcelo De León*  
*Ing. Agr. (MSc) Enrique Ustarroz*  
EEA Manfredi - INTA



## Introducción

En los sistemas de producción de carne sobre bases pastoriles es normal que, debido a variaciones en la calidad y/o cantidad de forraje disponible durante el año, se presenten deficiencias nutricionales para los animales. Cualquiera de estas limitantes ocasiona restricciones para la ganancia de peso, lo que afecta el sistema de producción, sea alargando la duración del período de engorde, restringiendo la carga animal y/o limitando la productividad por unidad de superficie. La consecuencia de todo esto es la disminución de la rentabilidad económica de la empresa.

En pasturas de buena calidad como la alfalfa, la limitante más importante en la producción de carne -y la más cara de corregir- es la energía. Por lo tanto, la suplementación con granos forrajeros, considerados concentrados energéticos, aparece como la alternativa más adecuada para compensar esta deficiencia.

Si bien la práctica de la suplementación es frecuentemente utilizada, suele tener resultados variables que dependen de las interacciones pasturas-animales-suplementos y que, en definitiva, definen la eficiencia de la técnica. Por todo ello, a fin de lograr los mejores resultados, se debe tener en cuenta una serie de factores, los que serán analizados a lo largo de este capítulo.

## Objetivos de la suplementación

Los objetivos que normalmente se persiguen con la suplementación son:

- Aumentar la ganancia individual de peso de los animales. Esta situación se presenta cuando la respuesta animal está condicionada por la calidad o la cantidad del forraje disponible, o por desbalances en las características nutricionales de la pastura.
- Aumentar la carga animal. Esta situación se presente cuando la baja disponibilidad estacional, sea por la baja productividad o la escasa superficie de las pasturas, impide que el sistema de producción pueda mantener los valores fijados para la carga animal, la ganancia de peso y la eficiente utilización de las pasturas en todo el ciclo.
- Combinar los objetivos anteriores para aumentar la ganancia individual y la carga animal.

## Potenciales relaciones pastura-suplemento

Desde el punto de la nutrición animal, las principales relaciones potenciales que pueden establecerse entre lo que ofrece la pastura y lo que aporta el suplemento se representan, de modo general, en la Figura 1.

La **adición** ocurre cuando el animal obtiene de la pastura una cantidad limitada de nutrientes, sea por baja digestibilidad, baja oferta forrajera o reducido tiempo de pastoreo. En este caso, el agregado de nutrientes a través de la suplementación permite incrementar las ganancias de peso individuales sin modificar la capacidad de carga de la pastura. Ejemplo: la restricción de la oferta forrajera por menor tasa de crecimiento otoño-invernal de las pasturas, tanto por disponibilidad como por pastoreo horario, hace que la

suplementación con grano produzca un efecto aditivo en la respuesta animal.

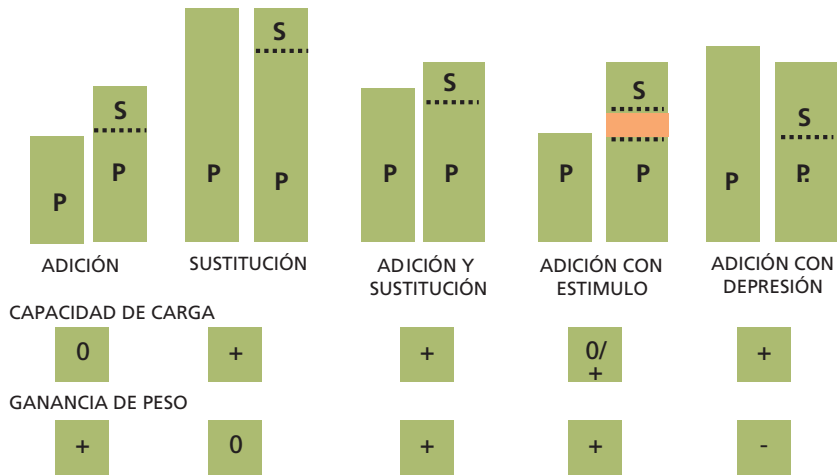
Por el contrario, la **sustitución** se aprecia cuando el animal dispone de abundante pastura de buena calidad, de modo que el suplemento que se suministra no sólo no agrega nutrientes sino que además el animal deja de consumir pastura en una cantidad equivalente a la del suplemento recibido.

En este caso, no se modifican las ganancias de peso individuales pero se incrementa la capacidad de carga de la pastura. Ejemplo: en la utilización de pasturas primaverales sin limitaciones de disponibilidad, donde el animal puede expresar todo su potencial de ganancia de peso, el agregado de un suplemento no modifica la producción de carne.

La **adición y sustitución**, que combina los dos efectos anteriores, se observa cuando el agregado de un suplemento mejora la provisión de nutrientes y origina una disminución no proporcional en el consumo de la pastura. La consecuencia de esta combinación es un aumento de las ganancias de peso individuales y la posibilidad de incrementar la carga animal. Situaciones de este tipo son frecuentemente observadas cuando el suplemento compensa alguna restricción de las pasturas; obviamente, la magnitud de esa compensación varía en función de la disponibilidad forrajera, del nivel de suplementación y del tipo de suplemento.

La **adición con estímulo** se observa cuando la incorporación de un suplemento provoca una mayor utilización de la pastura; en estas condiciones, el incremento del aporte de nutrientes de la pastura se suma al del suplemento. Por lo general, este tipo de situaciones se produce cuando se suplementan pasturas de baja calidad.

Finalmente, la **sustitución con depresión** se presenta cuando la inclusión del suplemento afecta negativamente el aporte de nutrientes de la pastura, con lo cual disminuyen las ganancias de peso individuales; como contrapartida, la disminución en el consumo de pastura permitiría un incremento de la carga animal. La típica situación de este tipo se experimenta cuando el suplemento ocasiona una disminución de la digestión del forraje base, que es de mediana calidad, como por ejemplo la suplementación de una pastura de alfalfa con heno de baja calidad.



**FIGURA 1** - Relaciones potenciales entre la pastura (P) y el suplemento (S). Referencias: (0) = sin modificaciones; (+) = aumento; y (-) = disminución. Adaptado de Lange (6).

## Características nutricionales de pasturas y granos

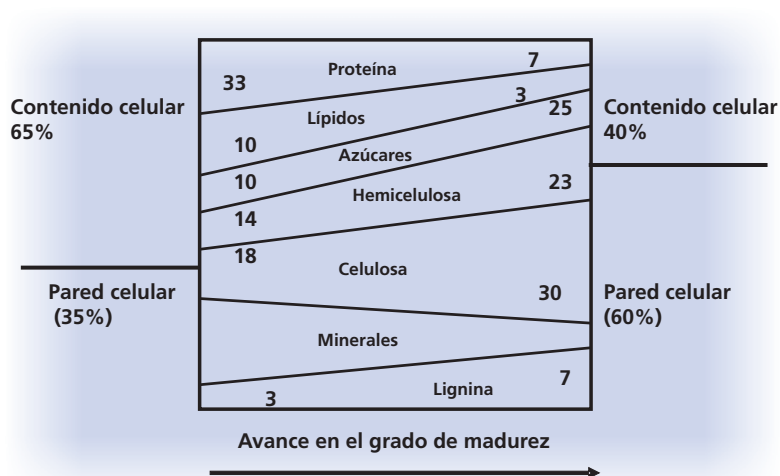
### Composición de los forrajes

Los forrajes están constituidos por los componentes que se indican en la Figura 2.





FIGURA 2 – Principales componentes de los forrajes, agrupados básicamente en agua y materia seca (MS).



La proporción de cada uno de los componentes varía con el grado de madurez de la pastura. En líneas generales, con el avance de la madurez aumenta la proporción de los constituyentes de la pared celular y disminuye la de los de contenido celular. En la Figura 3 puede observarse la magnitud promedio de las variaciones observadas en diferentes compuestos químicos de especies forrajeras.

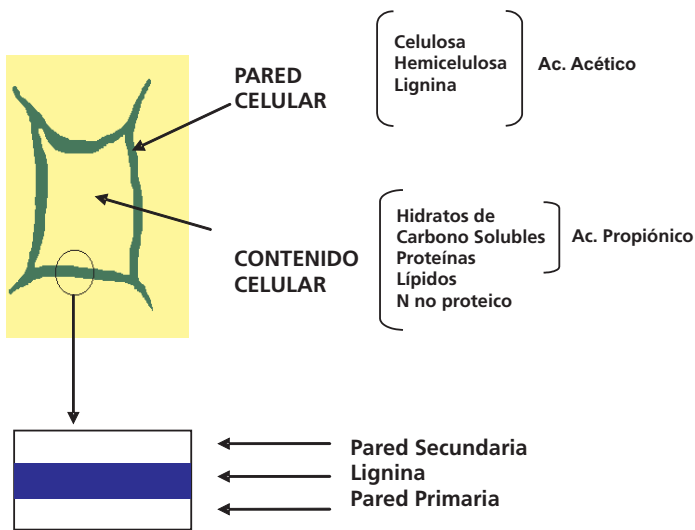
FIGURA 3- Valores promedio de variación de la composición química del forraje a medida que avanza el grado de madurez de la planta. Tomado de Holmes (4) y Viglizzo y Roberto (19).

Esos cambios en la composición química de los forrajes afectan su valor nutritivo, disminuyendo su digestibilidad y afectando el consumo. En el Cuadro 1 se resume la degradabilidad o digestibilidad que pueden alcanzar las distintas fracciones constituyentes de los forrajes. En ese contexto se aprecia que los hidratos de carbono son degradados en el rumen a través de la fermentación microbiana, mientras que la lignina y otros componentes de la pared celular permanecen indigestibles.

Por lo tanto, la digestibilidad del forraje se encuentra definida por la degradación de la pared celular, parámetro que en la técnica de análisis de Van Soest está definido por el valor de la Fibra Detergente Neutro (FDN). Por otro lado, los diferentes carbohidratos requieren de floras bacterianas específicas para su degradación en el rumen, siendo del tipo celulolítica para la fermentación de la pa-

CUADRO 1- Grado de degradación que pueden alcanzar los diferentes compuestos que conforman las fracciones pared celular y contenido celular. Tomado de Pioneer Forage Manual (13).

Fracción	Componentes incluidos	Degradación
Contenido celular	Azúcares, almidón, pectina	Completa
	Carbohidratos sdubles	Completa
	Proteínas, N no proteico (NNP)	Alta
	Lípidos	Alta
Pared celular (FDN)	Hemicelulosa	Parcial
	Celulosa	Parcial
	Proteína dañada por calor	Indigestible
	Lignina	Indigestible
	Sílice	Indigestible



**FIGURA 4-** Esquema que muestra los principales componentes químicos de la célula vegetal agrupados en las fracciones pared celular y contenido celular. Tomado de Pioneer Forage Manual (13).

red celular y amilolítica la del contenido celular. A su vez, estos microorganismos –que demandan diferentes ambientes ruminales– dan lugar a distintas cantidades y proporciones de ácidos grasos volátiles (AGV), como se representa en la Figura 4.

La composición de la pared celular también afecta el consumo animal, debido a la regulación física que ejerce en aquellos forrajes que contienen valores de FDN superiores a 45-50%. En esas condiciones, la menor digestibilidad condiciona un menor consumo y una menor tasa de pasaje por el tracto gastrointestinal. Por el contrario, en los alimentos con menos de 45% de

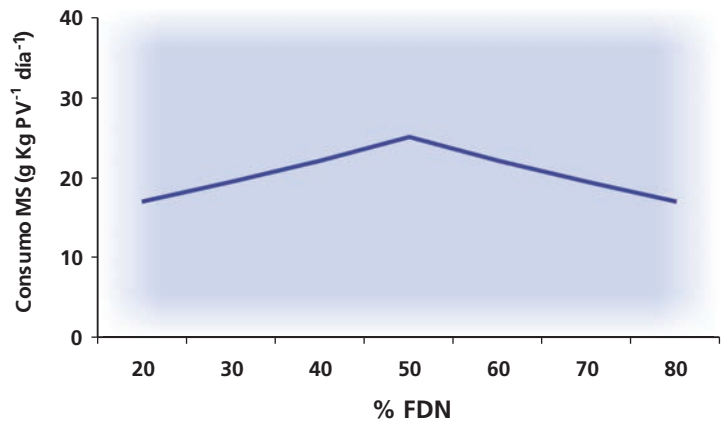
FDN la regulación del consumo es metabólica dado que, según el nivel de requerimientos del animal, el consumo de energía debe mantenerse constante (Figura 5).

Otro factor que puede condicionar el consumo de forraje es su contenido de humedad. En pasturas tiernas, con porcentajes de materia seca inferiores a 25%, se observa una disminución del consumo a medida que aumenta el contenido de agua, ya que ésta contribuye al llenado ruminal (Figura 6).

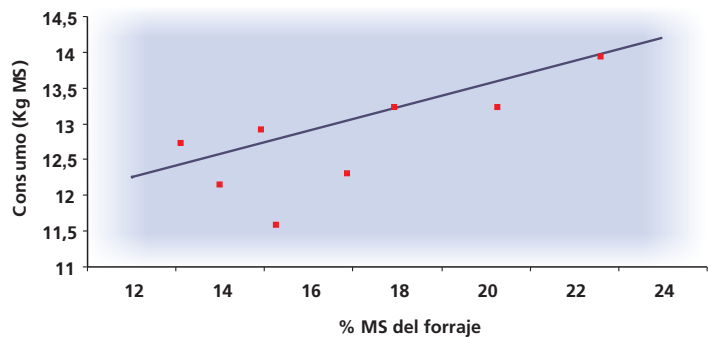
### Composición de los granos

Los granos, que son los concentrados energéticos por excelencia utilizados en la suplementación animal, presentan características diferenciales de gran importancia para la alimentación bovina. En primer lugar, debemos considerar su composición química y su contenido de energía metabolizable (Cuadro 2).

Otro aspecto importante para definir la utilización de los granos en la suplementación de



**FIGURA 5 –** Relación entre contenido de fibra detergente neutro (FDN) de la dieta y consumo animal. Tomado de Mertens (11).



**FIGURA 6.** Relación entre contenido (%) de materia seca (MS) del forraje y consumo animal (kg MS animal<sup>-1</sup>). Tomado de Verité y Journet (18).

**CUADRO 2** – Valores promedio de composición química (% MS) y concentración de energía metabolizable (Mcal Kg MS<sup>-1</sup>) de los granos forrajeros más importantes usados en la suplementación bovina. Tomado de Santini y Elizalde (14).

	Almidón	FDN	FDA	PB	EM
Avena	54.0	23.0	16.2	13.3	2.98
Cebada	66.1	19.3	7.4	13.5	3.29
Trigo	70.3	11.3	6.1	13.5	3.51
Sorgo	71.3	16.8	7.3	9.7	3.11
Maíz	76.1	9.1	3.1	10.0	3.34

FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; PB = proteína bruta y EM = energía metabolizable.

rumiantes lo constituyen sus diferencias no sólo en digestibilidad total sino también en lo referente a los sitios de digestión dentro del tracto digestivo, particularmente del almidón (Cuadro 3).

La suplementación con granos origina cambios en el ambiente ruminal, que a su vez afectan las vías fermentativas y tienen efectos muy importantes en la eficiencia de utilización de la energía. Por ejemplo, el suministro de granos provoca una disminución del pH ruminal, lo que hace disminuir la población de bacterias celulolíticas e incrementar la de bacterias amilolíticas, alterando a su vez la proporción de ácido propiónico en la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV), como se esquematiza en la Figura 7.

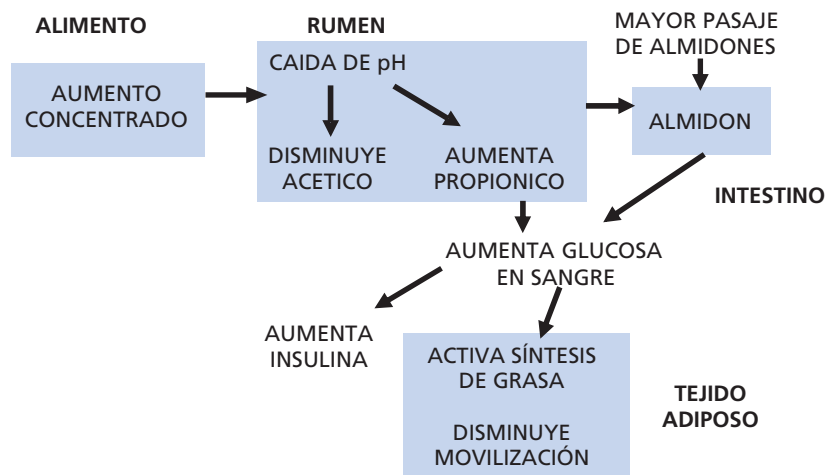
ción de ácidos grasos volátiles (AGV), como se esquematiza en la Figura 7.

**CUADRO 3** – Digestibilidad total (%), intensidad de digestión en rumen e intestino y sitio de digestión del almidón de los granos forrajeros más importantes usados en la suplementación bovina. Adaptado de Ustarroz (15).

	SORGO	MAIZ	CEBADA	AVENA	TRIGO
Digestibilidad total	79	84	81	75	89
Digestibilidad ruminal	Muy baja	Baja	Muy alta	Alta	Muy alta
Digestibilidad intestinal	Media	Alta	Media	Media	Media
Sitio de digestión del almidón	Preferencia intestino	Preferencia intestino	Preferencia rumen	Preferencia rumen	Preferencia rumen

La digestión de carbohidratos a nivel intestinal ha demostrado ser entre 11 y 30% más eficiente que en el plano ruminal. Esto se debe a una disminución de las pérdidas por calor que se producen en el rumen como consecuencia de la fermentación. No obstante esta mayor eficiencia de utilización del almidón a nivel intestinal, deben también tenerse en cuenta las necesidades de energía fermentecible a nivel ruminal para la utilización del nitrógeno dietario a través de su transformación en proteína microbiana; esta última cubre del 70 al 80% de los requerimientos proteicos del animal.

De todo lo anterior se desprende que, al definir la suplementación, debe



**FIGURA 7** – Efecto del suministro de granos (concentrado energético) en el ambiente ruminal y sus implicancias en el metabolismo animal.

observarse un balance entre la provisión de energía y de proteína a fin de promover un adecuado funcionamiento de los microorganismos del rumen. Esto se logra armonizando la composición de la pastura y las características del grano a utilizar.

### **Procesamiento de los granos**

Para lograr el máximo aprovechamiento de la energía contenida en los granos se requiere un procesado previo (partido, aplastado, molido, ensilado, etc.), ya que las envolturas que recubren el almidón –al oponer resistencia a la flora ruminal- dificultan su digestibilidad.

El molido del grano, al disminuir el tamaño de partícula, incrementa tanto la digestibilidad total como la digestibilidad parcial en cada sitio de digestión. La cuantificación del efecto que distintos procesamientos de grano tienen sobre estas variables, respecto del grano entero, se presenta en los Cuadros 4 y 5.

Es importante destacar que el grano de sorgo debe tener siempre algún tipo de procesamiento, ya que entero es poco digestible y puede perderse a través de las heces; por otro lado, una molienda demasiado fina disminuye su degradación en el rumen.

**CUADRO 4** - Efecto de diferentes procesamientos de granos de maíz y sorgo sobre la digestibilidad del almidón en los distintos sitios de digestión de los rumiantes. Tomado de Santini y Elizalde (14).

Procesamiento	Digestibilidad del almidón en los distintos sitios de digestión (% Flujo)			
	Rumen	Intestino Delgado	Intestino Grueso	Tracto Total
Maíz				
Entero	58.9	---	33.3	---
Partido	68.9	46.7	55.5	87.0
Aplastado	71.8	53.7	37.2	93.2
Molido	78.0	56.3	40.0	93.2
Ensilado	86.0	76.4	55.0	94.6
Vapor	82.8	88.1	61.9	97.8
Sorgo				
Aplastado	67.8	40.0	33.3	86.4
Ensilado	86.2	69.2	29.5	93.6

### **Grano húmedo**

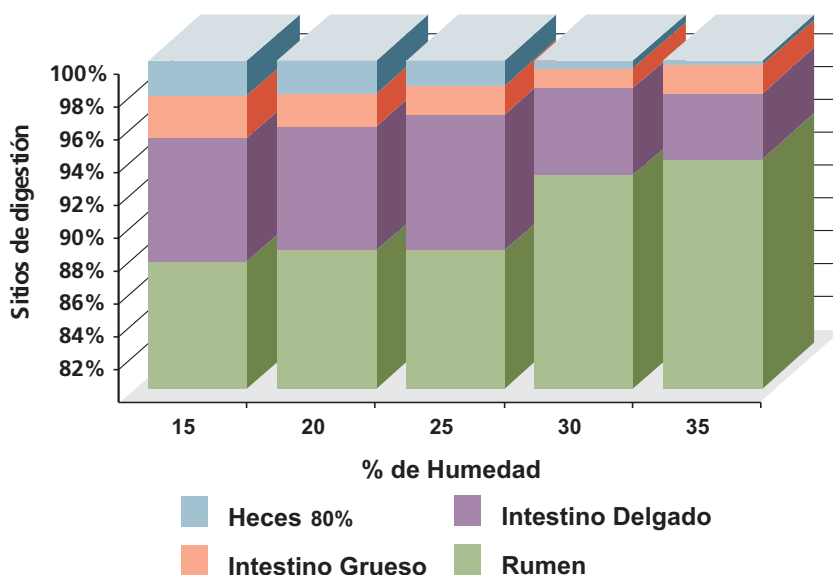
Otra alternativa para mejorar el uso de los granos forrajeros –particularmente maíz y sorgo- es suministrarlos como grano húmedo ensilado. Esto, al igual que el procesado, no sólo cambia el sitio de digestión sino que incrementa su digestibilidad total. Como se muestra en la Figura 8, ambos efectos son mejores a medida que aumenta el contenido de humedad en el grano.

No obstante, si bien se produce un incremento en la digestibilidad, y por ende en la

concentración energética, la disminución del consumo por el incremento del contenido de humedad hace que la respuesta animal sea similar, aunque con aumentos del 5 al 10% en la eficiencia de conversión (Figura 9).

**CUADRO 5** - Efecto de diferentes procesamientos de granos de cereales sobre la digestibilidad total y ruminal del almidón en los rumiantes. Tomado de Santini y Elizalde (14).

Cereal	Procesamiento	% de almidón en la dieta	Digestibilidad %	
			Tracto Total	Rumen
Cebada	Entera	60	50	95
	Aplastada	50	100-99	94
	Molida	50	100	93
Sorgo	Molido	50	97	42
	Reconstituido	57	99	42
	Aplastado	65-63	92-81	76-60
Maíz	Entero	60-67	88-77	71-56
	Partido	56	94-92	61
Avena	Entera	60	94	
	Aplastada	60	99	
Trigo	Entero	60	62	
	Aplastado	60	99	



**FIGURA 8** – Variación de la digestibilidad del almidón contenido en el grano de maíz húmedo en función de los sitios de digestión y del contenido de humedad del grano. Tomado de Aguirre et al. (1).



Obviamente, todo lo referido anteriormente al sitio de digestión del almidón y sus variantes según el tipo de grano y procesamiento a utilizar, impacta en la respuesta animal y en la eficiencia que puede lograrse según las combinaciones de grano y su interacción con el aporte de nutrientes de la pastura.

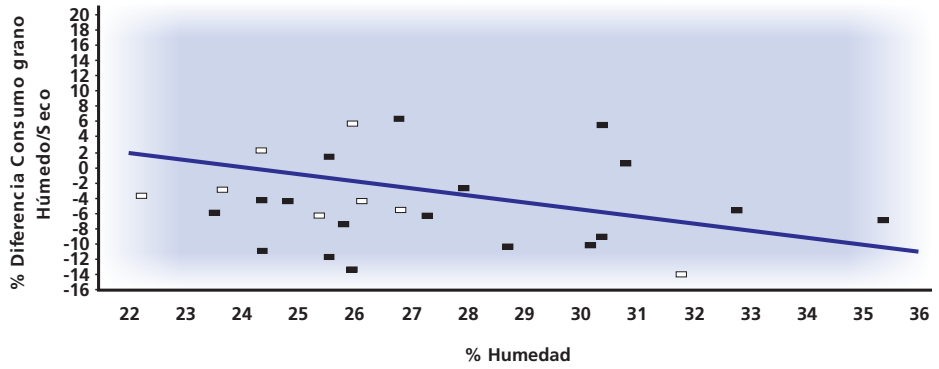


FIGURA 9 – Correlación entre el contenido de humedad (%) del grano y el consumo animal de materia seca (expresado como diferencia porcentual entre grano seco y húmedo). Adaptado de Owens y Thornton (12).

### Eficiencia de utilización de la energía

La magnitud de las pérdidas que ocurren mediante los procesos digestivo y metabólico determinan la eficiencia de conversión de la energía contenida en los alimentos (Figura 10).

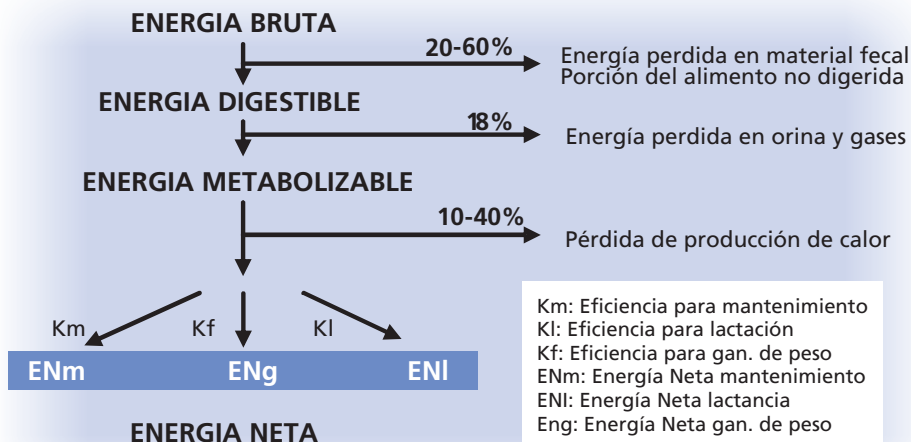


FIGURA 10 - Partición de la energía durante de los procesos digestivo y metabólico

La inclusión de concentrados en la dieta, como se señaló anteriormente, cambia la proporción de los AGV producidos mediante la fermentación ruminal de los hidratos de carbono, aumentando la concentración de ácido propiónico y disminuyendo la de ácido acético. Como la vía de fermentación del ácido propiónico es más eficiente que la del acético, fundamentalmente por producirse menores pérdidas como metano, resulta así un mayor saldo de energía disponible para el animal. Esto se puede determinar mediante la relación de la energía no glucogénica, que se relaciona con la eficiencia de utilización de la energía metabólica (EM) y que se obtiene dividiendo las producciones de los ácidos acético y butírico por la del propiónico. La máxima eficiencia de utilización de la energía para crecimiento y engorde se obtiene con valores de relación de energía no glucogénica entre 2 y 3, con baja producción de metano; esos valores son propios de la alimentación con granos. En general, los animales alimentados con dietas ricas en fibra

presentan para esta relación valores cercanos a 4.

La eficiencia de utilización de la EM, que se convierte en energía neta (EN) y que, retenida como ganancia de peso (Kf), es relativamente baja y muy dependiente de la calidad de la dieta. Esto se ve reflejado en la forma en que el porcentaje de grano en la dieta afecta la eficiencia de utilización de la energía, como se muestra en la Figura 11.

### Animales a suplementar

Cuando en un sistema de producción de carne se quiera implementar la suplementación, una de las principales cuestiones a definir es qué categoría o tipo de animal conviene suplementar. Desde el punto de vista de la eficiencia de conversión, obtendremos los mejores resultados con los animales más jóvenes, que tienen menores requerimientos de energía para mantenimiento y que, además, tienen menores requerimientos calóricos para la ganancia de peso. Esto se ilustra en la Figura 12 y en el Cuadro 6, donde puede observarse claramente el mayor requerimiento proteico en relación con la necesidad energética del animal joven, que proporcionalmente depone más proteína que grasa.

No obstante lo anterior, y desde el punto de vista del sistema productivo, muchas veces conviene suplementar a los animales grandes, a fin de darles el grado de terminación necesario para su venta. De esta forma se saca del sistema una

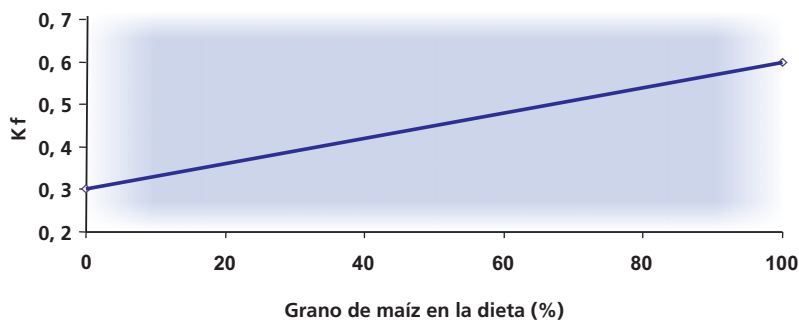


FIGURA 11 – Efecto del aumento de la suplementación con grano de maíz (en % de la dieta) sobre la eficiencia parcial de utilización de la energía metabolizable para la ganancia de peso (Kf) en bovinos. Adaptado de Minson (1990) [citado por Gagliostro (3)].

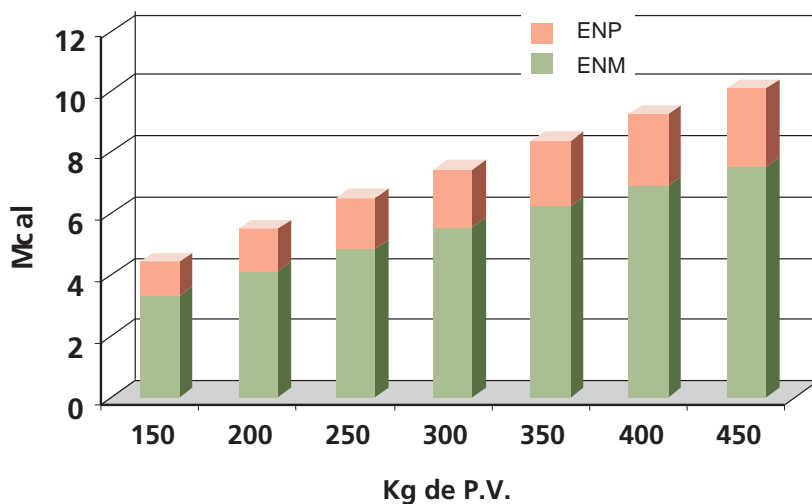


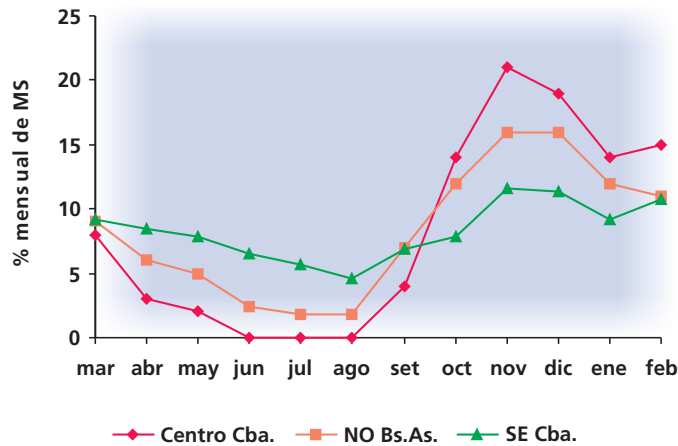
FIGURA 12 – Necesidades de energía neta para mantenimiento (ENM) y para deposición de proteína (ENP) en función del peso vivo (P.V.) y para mantener una ganancia de peso de 500 g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Tomado de Latimori y Kloster (8).

CUADRO 6 – Requerimientos en mega joules (MJ) de energía metabolizable (EM), de gramos (g) proteína bruta (PB) y de relación entre ambas para distintas funciones fisiológicas de animal. Tomado de Santini y Elizalde (14).

	EM (MJ)	PB (g)	PB/EM (g/MJ)
<b>Mantenimiento</b>			
Novillo 200 Kg	22.7	116.25	5.1
Novillo 400 Kg	38.1	194.4	5.1
<b>Ganancia de peso (1 Kg animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)</b>			
Novillo 200 Kg	44.1	294.4	6.9
Novillo 400 Kg	70.5	360.6	5.1
<b>Producción de leche</b>			
15 litros animal <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	124.9	679.4	5.4
40 litros animal <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	246.4	1429.4	5.8

categoría de alta demanda, lo que permite aumentar la carga y, además, evitar el mantenimiento de novillos pesados durante un segundo invierno, que es el período de mayor costo de producción.

Por otro lado, y debido a que el requerimiento energético para ganar 1 Kg de peso vivo es dependiente de la proporción de músculo y grasa, animales de la misma edad pero de diferentes precocidad presentarán distintos requerimientos calóricos para la ganancia de peso.



### Caracterización del forraje base

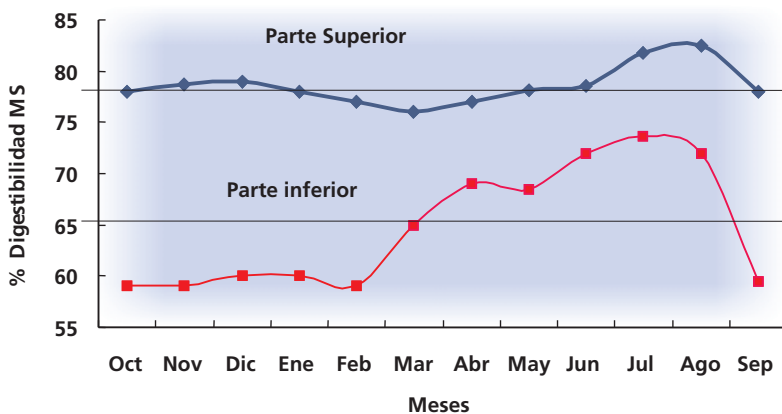
La concentración primavera-estival de la producción de las pasturas perennes de alfalfa (Figura 13) es el principal obstáculo a remover mediante la planificación e instrumentación de cadenas forrajeras de alta productividad y estabilidad.

La estacionalidad de producción de las pasturas de alfalfa determina la imposibilidad de realizar planteos ganaderos eficientes, cuyos requerimientos nutricionales coincidan en

**FIGURA 13** –Distribución mensual de la producción de materia seca (MS) de pasturas de alfalfa. Tomado de Ustarroz y col. (17).

oportunidad y magnitud con lo ofrecido por la pastura. Esto plantea la necesidad de recurrir a distintas alternativas tecnológicas para sortear el bache invernal de producción.

La variación de la calidad forrajera de la alfalfa a lo largo del año, en cuanto a porcentajes de digestibilidad y de proteína bruta, se grafica en las Figuras 14 y 15. Allí se puede observar que mientras la parte superior de la pastura presenta relativamente poca variación de calidad, la parte inferior manifiesta apreciables cambios. Esto se debe fundamentalmente a que durante el período otoño-invernal la presencia por tallos tiernos mejora la digestibilidad y el contenido proteico. Sin embargo, la problemática de las



**FIGURA 14** – Variación del porcentaje de digestibilidad de la materia seca (MS) de alfalfa a lo largo del año discriminada por altura de canopeo en partes (mitades) superior e inferior. Tomado de Bruno et al. (2).

bajas ganancias de peso otoñales es un fenómeno actualmente bien identificado por los productores ganaderos de todas las regiones en las que se utilizan recursos forrajeros de alta calidad, como la alfalfa en pastoreo directo.

El fenómeno de las bajas ganancias otoñales se caracteriza por una respuesta productiva inferior a la que podría esperarse al considerar el volumen y la calidad aparente del forraje ofrecido a

los animales. La magnitud de esta depresión productiva varía significativamente de año en año, dependiendo fundamentalmente de las condiciones climáticas imperantes. Durante esta época del año, tanto sobre pasturas de alfalfa pura o consociada como sobre verdes invernales, suelen detectarse las mayores diferencias entre las respuestas animales esperadas y las realmente obtenidas.

Los otoños húmedos, cálidos, con lloviznas frecuentes y días nublados, agudizan el problema notoriamente. Esto último explicaría, al menos en parte, las diferencias entre años en cuanto a intensidad y duración del fenómeno; no es extraño detectar condiciones similares a las descritas durante la salida de inviernos poco rigurosos y húmedos.

Una de las hipótesis más aceptadas que podrían explicar este fenómeno se basa en ciertas características nutricionales que los forrajes de alta calidad -como pasturas de alfalfa puras o consociadas- presentan durante el otoño. Entre éstas, pueden mencionarse el bajo contenido de materia seca y de fibra (pastos aguachentos), el exceso de proteínas (particularmente de la fracción rápidamente fermentecible) y los bajos niveles de carbohidratos solubles (CHS). Estos desequilibrios en la composición química del forraje tienen en el animal consecuencias digestivas y fisiológicas, que conducen a su bajo desempeño aun cuando no existan restricciones en la cantidad del forraje ofrecido. Bajo estas condiciones, los animales disminuyen el consumo, tienen aumentos de peso por debajo de lo que se esperaría considerando el forraje que se les ofrece, se observan sumidos y manifiestan estados diarreicos.

La problemática ha sido estudiada desde el punto de vista nutricional, habiéndose obtenido resultados muy satisfactorios en su corrección. Dependiendo de la severidad del problema, la suplementación con grano -sólo o combinado con heno- resulta una de las alternativas más eficientes. El agregado de estos elementos a la dieta de forraje fresco no sólo eleva los niveles de CHS a nivel ruminal sino que además disminuye la ingesta total de la fracción nitrogenada, mejora el consumo de materia seca y, en consecuencia, permite incrementar las ganancias individuales y la producción de carne por unidad de superficie. Sobre pasturas muy «aguachentas» o verdes muy tiernos, se han observado buenos resultados con el agregado de heno a la dieta. En estos casos, el aporte de fibra permite mejorar las condiciones de funcionamiento ruminal. Este heno debe ser de buena calidad y puede entregarse entero y a libre consumo (*ad libitum*) en forma permanente o, en caso de ser necesario, picado junto con el grano. El suministro de heno permite disminuir el nivel de grano a un 0,5 % del peso vivo día<sup>-1</sup>.

Por otra parte, no debe olvidarse que la intensidad de uso afecta la calidad de lo que los animales son capaces de cosechar. Como se aprecia en el Cuadro 7, la digestibilidad y el tenor de proteína disminuyen desde la parte superior de la pastura hacia la base, siendo este efecto más notable en tallos que en hojas.

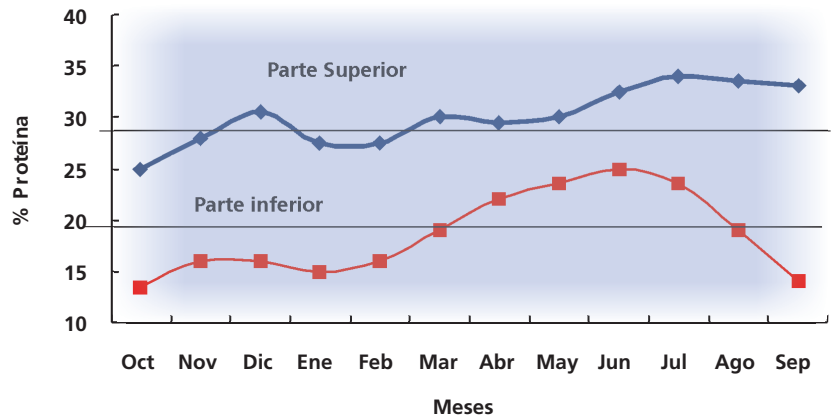


FIGURA 15 – Variación del contenido proteico en porcentaje de materia seca (MS) de alfalfa a lo largo del año discriminada por altura de canopeo en partes (mitades) superior e inferior. Tomado de Bruno y col. (2).

**CUADRO 7** – Variación de la digestibilidad (% DIVMS) y del contenido de proteína bruta (% PB) de hojas y tallos de alfalfa fresca (verde) en función de los estratos (altura en cm) del canopeo. Tomado de Ustarroz y col. (17).

Estratos (cm)	Hoja Verde		Tallo Verde	
	% DIVMS	% PB	% DIVMS	% PB
Más de 30	70.0	28.5	70.0	16.0
20 a 30	70.7	28.5	62.5	13.0
10 a 20	67.0	30.0	55.5	11.0
0 a 10	67.0	31.0	48.0	10.0

La pared celular es un parámetro importantísimo en la dieta, ya que afecta en forma directa el consumo de un forraje que puede alcanzar un animal, condicionando así su respuesta productiva. El aumento del índice de cosecha disminuye la calidad de la dieta de los animales, a lo que se suma un efecto de menor cantidad, que afecta el consumo por un achicamiento del tamaño del bocado. Esta menor cantidad y calidad de lo consumido afecta la respuesta individual; sin embargo, al aumentar el grado de uso por medio de la carga animal, aumenta la ganancia de peso total por unidad de superficie.

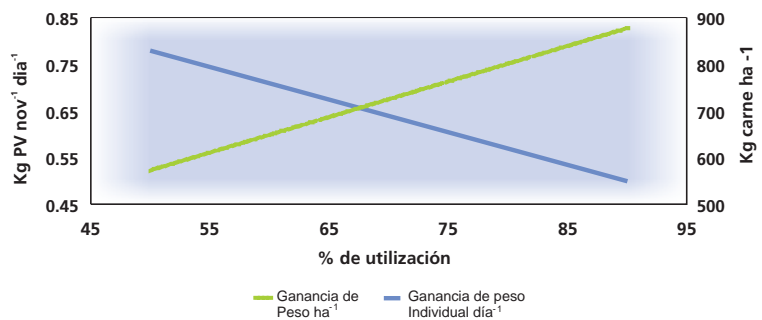
En el Cuadro 9 se consignan los valores de ganancia individual de peso y de producción de carne por hectárea en función de la carga animal, del porcentaje de utilización y de la asignación de forraje que resultan de aplicar diferentes intensidades de uso.

Cuando se quiere compatibilizar una elevada carga animal con altas ganancias de peso, a fin de acortar la duración del engorde o lograr un adecuado grado de terminación en una determinada época del año, se debe hacer uso de la suplementación con grano. Esta necesidad se hace más notable cuando se observan las variaciones que sufre la respuesta animal en las distintas épocas del ciclo de la pastura (Cuadro 10).

Es evidente que si el objetivo es mantener simultáneamente una alta carga animal y

La disminución de la digestibilidad en función de los estratos tiene un efecto directo sobre la energía que el animal puede destinar a producción y, por lo tanto, marcará el límite de ganancia de peso que puedan obtener (Figura 16).

Otro factor importante que se modifica en la dieta de los animales cuando se aumenta el grado de utilización de la pastura es la pared celular, como se muestra en el Cuadro 8.



**FIGURA 16** – Ganancia de peso vivo individual (Kg PV nov<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) y producción de carne por unidad de superficie (Kg carne ha<sup>-1</sup>) en función del porcentaje de utilización de la alfalfa. Tomado de Ustarroz y col. (17).

**CUADRO 8** – Variación de la calidad de la dieta en dos cultivares de alfalfa de diferente grado de reposo invernal en función de los días de pastoreo dentro de un sistema rotativo. Tomado de Ustarroz y col. (17).

Parámetros de calidad (%)	CUF 101		PAMPEANA	
	1° día	7° día	1° día	7° día
Digestibilidad in vitro MS	63.2	45.1	65.0	44.6
Proteína Bruta	19.7	11.7	20.9	12.4
Pared celular	23.0	29.1	21.7	31.1

**CUADRO 9** – Ganancia diaria de peso vivo individual (GPVI) y ganancia acumulada de peso vivo por hectárea (GPVha) en función del grado (%) de utilización de una pastura de alfalfa para tres niveles de carga animal y sus respectivas asignaciones de forraje (AF). Tomado de Ustarroz y col. (17).

CARGA	Novillos ha <sup>-1</sup>	AF (Kg MS 100 Kg PV <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	% de Utilización	GPVI (Kg animal <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	GPVha (Kg carne ha <sup>-1</sup> )
ALTA	7.5	2.4	82.5	0.589	854
MEDIA	6.3	3.3	74.5	0.642	837
BAJA	3	6.3	55.0	0.817	483

que en el otoño, las ganancias de peso se ven también afectadas por las altas temperaturas; en este contexto, la suplementación con granos forrajeros, que constituyen dietas más «frías» que los forrajes groseros porque producen menos calor durante la fermentación ruminal, puede tener un efecto positivo en el animal.

**CUADRO 10** – Variación estacional de la ganancia diaria de peso vivo individual (GPVI) y ganancia acumulada de peso vivo por hectárea (GPVha) en función del grado (%) de utilización de una pastura de alfalfa para tres niveles de carga animal y sus respectivas asignaciones de forraje (AF). Tomado de Ustarroz *et al.* (17).

ESTACIÓN DEL AÑO	CARGA (Nov ha <sup>-1</sup> )	AF (Kg MS 100 Kg PV <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	% de Utilización	GPVI (Kg animal <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	GPVha (Kg carne ha <sup>-1</sup> )
Primavera	7.5	3.3	75	1.002	438
	6.3	4.4	64	1.032	395
	3	7.9	39	1.097	199
Verano	7.5	2.4	84.0	0.565	380
	6.3	2.8	78.0	0.595	372
	3	4.9	60.5	0.699	213
Otoño	7.5	0.73	100	0.071	113
	6.3	1.00	100	0.209	195
	3	2.20	70.5	0.564	167

en carne, lo que resulta un buen indicio de la conveniencia de la práctica. Es importante destacar que el análisis del resultado económico no debe limitarse a la relación de precios grano/carne y a la eficiencia de su transformación, sino que debe considerar también los aspectos más globales que se logran con uno u otro planteo de alimentación, como la duración de la invernada, la calidad de la terminación, la época de ventas, etcétera.

Sobre pasturas de alfalfa pura o consociada, la respuesta de los animales a la suplementación correctiva manifestó importantes variaciones entre años. En los otoños menos húmedos, momento en que el desempeño de los animales sobre las pasturas es mejor, la respuesta a la suplementación es menos importante. Como ya se mencionó, además de la intensidad varía también la duración del fenómeno. No obstante, en todos los años analizados, el suministro de granos resultó una práctica favorable y económicamente conveniente. En el Cuadro 11 se muestran los resultados promedio de cuatro años de evaluación de respuesta a la suplementación correctiva practicada durante el otoño.

una elevada ganancia de peso, las épocas del año en las que debería hacerse uso de la suplementación serán el verano y el otoño. En estas dos estaciones es cuando normalmente se presentan problemas de cantidad y de calidad de forraje. En el otoño, las deficiencias de calidad se relacionan con el desequilibrio energético-proteico, como ya fuera mencionado. En el verano, además de los problemas de cantidad que se dan al igual

que en el otoño, las ganancias de peso se ven también afectadas por las altas temperaturas; en este contexto, la suplementación con granos forrajeros, que constituyen dietas más «frías» que los forrajes groseros porque producen menos calor durante la fermentación ruminal, puede tener un efecto positivo en el animal.

## Resultados de la suplementación

### Suplementación correctiva en otoño

Con el objetivo de corregir los ya señalados desbalances otoñales en la composición de las pasturas, se han analizado resultados de varios ensayos de suplementación con granos. En todos los casos se han logrado muy buenos niveles de conversión del suplemento



**CUADRO 11** – Resultados obtenidos con la suplementación correctiva con granos durante los otoños del período 1991-94. Tomado de Latimori y Kloster (7). Referencias: AMD diferencial = aumento medio de peso vivo diario (g día<sup>-1</sup>) en relación al testigo sin suplementar; ECI = eficiencia de conversión individual grano/carne; y ECha = eficiencia de conversión grano/carne ha<sup>-1</sup>.

	1991	1992	1993	1994	PROMEDIO
Días evaluación	118	133	124	98	118
Suplemento	0.5 % (*)	0.7 %	0.7 %	0.7 %	0.65 %
AMD diferencial	250	275	200	272	250
ECI	5.5	6.5	8.7	6.8	6.8
EC <sub>ha</sub> (**)	4.6	5.4	7.3	5.7	5.7

(\*) El grano utilizado fue sorgo quebrado; en el resto se usó maíz.

(\*\*) Sobre la base de un nivel de sustitución medio del 20 %.

Como puede observarse, la duración e intensidad del problema fue variable entre años y, en consecuencia, también lo fueron las respuestas; no obstante, los resultados de la suplementación fueron siempre positivos. Es importante destacar que una eficiencia de conversión de 6,8 (ECI) o 5,7 (ECha) kilogramos de grano por cada kilogramo de carne producido, otorga un amplio margen de seguridad a la práctica, par-

ticularmente si se consideran las relaciones históricas de precio entre insumo y producto. No obstante, se insiste en que esto último no debe ser el único indicador económico a considerar.

El tipo de respuesta a la suplementación con granos que se obtiene habitualmente en animales de recría y de comienzos de invernada (180 a 250 kg de p.v.) también fue verificada en cate-

gorías de un peso próximo a la terminación. En el Cuadro 12 se resumen los resultados obtenidos en el otoño de 1997, cuando se compararon las ganancias de peso alcanzadas con una dieta exclusivamente pastoril y con dos niveles de suplementación con granos. Al promediar la experiencia, el peso medio de los animales era de 356 Kg.

Si bien en los animales en terminación las asignaciones de forraje son inferiores a las que se manejan en las tropas de inicio de invernada, la respuesta al suministro de granos en este tipo de animales sigue siendo importante. En resumen: la suplementación con granos permitiría no sólo asegurar la terminación de los novillos en los planteos intensificados, sino también acortar la invernada en aquellos esquemas pastoriles que no son suplementados al comienzo del ciclo.

### **Suplementación estratégica en pasturas de alta calidad**

La intensificación de los sistemas de invernada requiere del mantenimiento de altas cargas animales y del sostenimiento o incremento de las ganancias de peso individuales respecto de las que se obtienen en sistemas puramente pastoriles, en particular si se pretende un alto grado de utilización del forraje producido.

**CUADRO 12** – Respuesta a dos niveles de suplementación otoñal con grano de maíz partido en novillos próximos a la terminación, donde: T1 = control (dieta pastoril de alfalfa pura); T2 = idem T1 + 0,6% de P.V. animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> de grano; y T3 = idem T1 + 1,0 % de P.V. animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> de grano. Tomado de Ustarroz y col. (17).

	Asignación de forraje (g MS kg p.v. <sup>-1</sup> )	Consumo (g MS kg p.v. <sup>-1</sup> )			Aumento Medio Diario (g/día)
		forraje	grano	total	
T 1	17.7	14.7	0.0	14.7	400
T 2	16.0	12.5	6.0	18.5	622
T 3	17.5	11.7	10.0	21.7	706

La suplementación con grano es una herramienta adecuada para cumplir estos objetivos, pudiendo combinarse de diferente modo los niveles de suministro de grano y las asignaciones forrajeras definidas por la carga animal. Los resultados obtenidos en INTA Manfredi referidos al efecto que la combinación de tres niveles de suplementación con grano de maíz y tres asignaciones forrajeras de una pastura de alfalfa tuvieron sobre la ganancia de peso de novillos y la producción de carne ha<sup>-1</sup>, durante todo el ciclo de crecimiento de la pastura, se muestran en el Cuadro 13.

**CUADRO 13** – Ganancia diaria de peso vivo individual (GPVI) (Kg P.V. novillo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) y ganancia de peso vivo por hectárea (GPVHa) (Kg de carne ha<sup>-1</sup>) según tres niveles de suplementación (NS) con grano de maíz (0; 0,75; y 1,5 % del P.V. animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) y tres niveles de asignación de forraje (AF) (Kg MS 100 Kg P.V.<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). Tomado de Ustarroz y col. (16).

AF	NS=0		NS=0.75		NS=1.5	
	GPVI	GPVHa	GPVI	GPVHa	GPVI	GPVHa
1.5	0.153	204.6	0.715	948.4	0.856	1183.8
2.3	0.338	317.6	0.759	691.7	1.036	889.4
3	0.529	365.4	0.838	639.4	1.020	729.8

Del análisis del Cuadro 13 se advierte que en todo lo niveles de asignación de forraje (AF), los tratamientos sin suplementación difirieron de los suplementados con grano, independientemente de su nivel (bajo o alto). En los tratamientos sin suplementación se puso de manifiesto el efecto de cantidad de forraje ofrecido, produciéndose un aumento de la respuesta animal a medida que se incrementó la AF. Con el bajo nivel de suplementación sólo parecen haberse compensado las diferencias de oferta forrajera entre las distintas AF, por lo que no hubo diferencias de ganancia de peso entre estas últimas. El suministro de un alto nivel de suplementación, cercano al 50% del consumo potencial, posiblemente haya logrado un doble efecto de cantidad y calidad, lo que permitió a los animales -a través de una mayor selección en las asignaciones más altas- obtener ganancias de peso más elevadas. El tratamiento de alta suplementación y baja AF resultó ser el de mayor ganancia de P.V. ha<sup>-1</sup>, dado que combinó una buena ganancia de peso con una alta carga animal. Los tratamientos sin suplementación, independientemente de la AF, resultaron ser inferiores a todos los tratamientos con suplementación, al verse condicionados por las bajas ganancias de peso obtenidas solamente con la pastura. El tratamiento de baja suplementación y baja AF resultó ser superior al del mismo nivel de suplementación y alta AF debido a que, al obtenerse similares ganancias de peso, se marcó el efecto de la carga. El resto de las combinaciones entre niveles de suplementación y AF se ubicaron en valores intermedios y sin diferencias entre ellas, ya que las menores GPVI se compensaron con las mayores cargas. Respecto de la conversión de grano a carne, si bien hubo una tendencia a mostrar mejores índices en los tratamientos de baja y media asignación, no se pudieron detectar diferencias estadísticamente significativas, lográndose una conversión media de 6,9 Kg de grano para lograr un Kg de carne.

En base a todo lo anterior, del ensayo de Ustarroz y col. (16) se pueden sacar las siguientes conclusiones: a) El nivel de 0,75% de suplementación resultó ser efectivo para elevar las ganancias de peso a valores compatibles con invernadas de corta duración, permitiendo además la combinación de altas ganancias de peso por hectárea con altas presiones de pastoreo; b) La combinación de un alto nivel de suplementación (1,5%) con una alta presión de pastoreo (AF = 1,5%) permitió maximizar la ganancia de P.V. ha<sup>-1</sup>, y c) El valor obtenido de conversión de grano a carne resultó ser económicamente viable en función de los precios del grano y del kilogramo de carne.

En otro ensayo realizado en INTA Manfredi, Martínez Ferrer y col. (9) evaluaron cinco combinaciones de carga animal (baja, media y alta) y niveles de suplementación (nula, baja y alta). Los resultados, que se presentan en el Cuadro 14, muestran que a menor nivel de suplementación aumentó la eficiencia de utilización de la pastura, tanto con alta como con mediana presión de pastoreo. En consecuencia, se concluyó que la presión de pastoreo -al menos en los rangos evaluados- aparece como el determinante principal de la eficiencia de utilización de la pastura cuando se intensifican los sistemas de invernada. La suplementación, al compensar la caída en el consumo de forraje que se observa en novillos sometidos a elevadas presiones de pastoreo, permitió mantener elevados valores totales de consumo.

**CUADRO 14** – Valores de asignación forrajera (Kg MS 100 Kg P.V.<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>), de consumo de forraje (Kg MS 100 Kg P.V.<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>), de consumo total (Kg MS 100 Kg P.V.<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) de materia seca y de eficiencia de utilización (%) de la pastura según cinco combinaciones de presión de pastoreo (BP = baja; MP = media; y AP = alta) y niveles de suplementación (SS = nula; BS = baja; y AS = alta). Tomado de Martínez Ferrer y col. (9).

Tratamientos	Asignación Forrajera	Consumo de Forraje	Consumo Total	Eficiencia de Utilización
BP – SS	6,256 (0,625) a	2,955 (0,296) a	2,955 (0,296) abc	47,23 (0,01) cd
MP – BS	4,203 (0,215) b	2,094 (0,081) b	2,816 (0,080) bc	49,85 (0,87) c
MP – AS	4,396 (0,248) b	2,022 (0,074) b	3,449 (0,061) a	46,05 (0,91) d
AP – BS	2,321 (0,093) c	1,881 (0,005) b	2,613 (0,045) c	81,07 (1,04) a
AP – AS	2,406 (0,046) c	1,746 (0,003) b	3,193 (0,016) ab	72,58 (1,51) b
Diferencia Mínima Significativa (SD)	1,159	0,520	0,514	3,465

En cada tratamiento se consignan los valores medios ( error estándar). Valores seguidos por igual letra no difieren estadísticamente (LSD, =0,05).

**CUADRO 15.** Valores de ganancia de peso (Kg novillo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>), de espesor de grasa dorsal (mm), de producción de carne por unidad de superficie (Kg P.V. ha<sup>-1</sup>) y de producción de carne por unidad superficie corregida por la incorporación del área utilizada para la producción de granos (Kg P.V. ha total<sup>-1</sup>) según cinco combinaciones de presión de pastoreo (BP = baja; MP = media; y AP = alta) y niveles de suplementación (SS = nula; BS = baja; y AS = alta). Tomado de Martínez Ferrer y col. (10).

Tratamientos	Aumento de peso	Espesor Grasa Dorsal	Producción de Carne	Prod. de Carne Corregida
BP SS	0,858 (0,026) a	9,60 (0,67) a b	326,5 (11,7) c	326,5 (11,7) c
MP – BS	0,755 (0,049) a	9,60 (0,67) a b	427,7 (29,4) b c	341,2 (15,4) c
MP – AS	0,862 (0,062) a	11,73 (0,73) a	487,5 (35,5) b	319,2 (27,3) c
AP – BS	0,703 (0,001) a	8,66 (0,26) b	912,2 (7,6) a	578,1 (5,1) a
AP – AS	0,804 (0,050) a	9,13 (0,60) b	1044,7 (71,3) a	474,8 (37,4) b
Dif. Mín. Significativa	0,157	2,221	139,81	81,96

En cada tratamiento se consignan los valores medios ( error estándar). Valores seguidos por igual letra no difieren estadísticamente (LSD, =0,05).

Complementariamente, y en relación con la respuesta animal, Martínez Ferrer y col. (10) obtuvieron los resultados que se presentan en el Cuadro 15. Allí se muestra que, considerando el grano como insumo, no hubieron diferencias de ganancia de peso entre los distintos tratamientos pero sí de productividad (Kg P.V. ha-1). Cuando se corrigió la superficie ganadera, incorporando la correspondiente a la producción de grano, los Kg P.V. ha-1 también difirieron significativamente. Se concluyó en que la presión de pastoreo afectó la producción secundaria y que el nivel de suplementación permitió mejorar el grado de terminación y la ganancia de peso, tanto individual como por hectárea; no obstante, el efecto sobre ésta última se invierte al incorporar la superficie empleada para producir el grano.

**CUADRO 16** - Efecto de la calidad forrajera y de la suplementación con grano de maíz (0,7% P.V. animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) sobre la ganancia de peso (Kg P.V. día<sup>-1</sup>) en un ciclo de invernada corta sobre una pastura base alfalfa. Tomado de Latimori y Kloster (8).

	Otoño	Invierno	Primavera
<b>CALIDAD DEL FORRAJE</b>			
Materia Seca (%)	18.4	16.1	24.3
Proteína Bruta (%)	26.9	34.9	23.5
Pared Celular (%)	47.7	36.3	55.2
Digestibilidad MS (%)	68.2	70.5	58.1
<b>GANANCIA DE PESO</b>			
T1 (sin suplementar)	0.393	0.335	0.857
T2 (suplementado)	0.607	0.561	0.923

En INTA Marcos Juárez se comparó una invernada sobre una pastura base alfalfa suplementada permanentemente con grano de maíz con otra sobre la misma pastura pero sin suplementar. El nivel de grano suministrado fue de 0,7 % del P.V. de los novillos, con lo cual se pretendió: a) corregir los desbalances nutricionales otoñales; b) mejorar la oferta total de nutrientes durante el bache invernal de producción de la pastura, y c) incrementar la carga animal durante la primavera-verano por la sustitución del consumo de la pastura por el de grano. Los resultados se presentan en el Cuadro 16.

La suplementación produjo aumentos en las ganancias de peso durante el otoño y el invierno por efectos netamente aditivos; por el contrario, en primavera no hubo respuesta animal a la suplementación sino que hubo una sustitución promedio en el consumo de 0,6 Kg de pastura por cada Kg de grano ingerido. La eficiencia de conversión de grano a carne fue variable según la época del año, con un rango de 5:1 en invierno a 20:1 en primavera y con un promedio de 6,7:1 para todo el período de engorde.

En otra experiencia desarrollada en INTA Marcos Juárez, Kloster y col. (5) evaluaron la suplementación invernal de novillos sobre pasturas de alfalfa y gramíneas con bajas asignaciones forrajeras (1,5% del peso vivo). Compararon dos tipos de suplemento: grano de maíz quebrado y silaje de maíz de planta entera, y utilizaron dos niveles de suplementación: 0,5% y 1 % del P.V. para grano de maíz y 0,7% y 1,4% del P.V. para silaje de maíz, a fin de equiparar en cada caso los aportes de energía metabolizable. Los resultados obtenidos, (Cuadro 17), mostraron diferencias significativas entre todos los tratamientos.

**CUADRO 17** – Aumento de peso diario (APD) de novillos sobre una pastura (P) de alfalfa y gramíneas sometidos a diferentes tratamientos de suplementación con dos niveles de grano de maíz (0,5% y 1% P.V. animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) o dos niveles de silaje de planta entera de maíz (0,7 y 1,4% P.V. animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). Tomado de Kloster y col. (5).

	P sin suplemento	Suplementada 0,5% Grano Maíz	Suplementada 1% Grano Maíz	Suplementada 0,7% Silaje Maíz	Suplementada 1% Silaje Maíz
APD (g PV día <sup>-1</sup> )	536	741	813	689	751

Los autores concluyeron que es posible lograr aumentos en la ganancia de peso de novillos con el uso de suplementos energéticos en otoño e invierno, aún con bajos niveles de suplementación.

## Consideraciones finales

En relación con los requerimientos de los animales, las pasturas de alfalfa presentan algunas limitantes para la producción de carne bovina, que se pueden sintetizar en: a) producción variable durante el año; b) calidad variable según época y grado de utilización, y c) forrajes nutricionalmente desbalanceados. En ese contexto, la suplementación estratégica se convierte en una herramienta para mejorar la utilización de las pasturas de alfalfa en la producción de carne, ya que permite superar esas limitaciones.

El suministro de suplementos energéticos a animales sobre pasturas de alta calidad es una técnica de uso frecuente para intensificar los sistemas de invernada. Sin embargo, no siempre se aplica con el suficiente conocimiento sobre su impacto en el proceso de engorde animal ni con la adecuada planificación.

Considerando que en invernada la productividad (Kg de carne ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) está determinada por la ganancia de peso individual (Kg P.V. animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) y la carga animal (animales ha<sup>-1</sup>), el resultado final estará en función de la interacción permanente y dinámica entre los animales y las pasturas. A partir de ello, y considerando los principales efectos de la suplementación en pasturas de alta calidad (adición o sustitución), se podrá predecir su impacto sobre el aumento de peso, la carga animal, la eficiencia de cosecha del forraje, la duración del engorde y la conversión de grano en carne. También deberá considerarse que el tipo y el nivel de suplemento afectarán la composición química y las características organolépticas de la carne que se produzca.

La suplementación con granos ha demostrado ser una herramienta eficiente para la intensificación de los sistemas de producción de carne. Su utilización sobre pasturas de alfalfa mejora las ganancias de peso cuando las disponibilidades forrajeras son limitantes o cuando corrige desbalances estacionales de las pasturas. Los mayores efectos productivos se logran cuando la suplementación permite incrementar la carga animal a través de la utilización del forraje que es sustituido por el consumo de grano.

La conveniencia de suplementar no debe ser evaluada sólo por la simple relación precio del grano/precio de la carne, sino que debe también analizarse desde el punto de vista del impacto que produce sobre todo el sistema de producción (mantenimiento de la carga, duración del ciclo de engorde, grado de terminación, etc.). En cada caso, se deben sopesar las diferentes alternativas para todas las variables en juego y -más importante aún- las interacciones entre ellas.

## Bibliografía

- 1- AGUIRRE, E. O., A. L. GOETSCH and F. N. OWENS. 1984. Fermented corn grain and extent of nutrient digestion in steers. Oklahoma Ag. Exp. Sta. Misc. Publication 116:194.
- 2- BRUNO, O. A., M. C. GAGGIOTTI y L. A. ROMERO. 1989. Henificación. *In: Jornada para productores sobre Conservación de Forrajes. III Congreso Panamericano de la Leche. INTA Rafaela, Argentina, pp. 43-44.*
- 3- GAGLIOSTRO, G. 1999. Principios de nutrición y suplementación de bovinos en pastoreo. *In: 3º Curso de Nutrición y Alimentación de Bovinos. INTA Balcarce, Área de Producción Animal – Grupo Nutrición y Metabolismo, s/p.*

- 4- HOLMES, W. 1980. Grass: Its Production and Utilization. British Grassland Society. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- 5- KLOSTER, A., N. LATIMORI y M. AMIGONE. 2004. Suplementación de novillitos con dos fuentes energéticas en una pastura de alfalfa y gramíneas a baja asignación de forraje. RIA 33 (1): 101-116.
- 6- LANGE, A. 1975. Suplementación de pasturas para la producción de carnes. AACREA. Colección Investigación Aplicada. Bs. As., Arg, 75 p.
- 7- LATIMORI, N. y A. KLOSTER. 2003. Suplementación sobre pasturas de calidad. *In*: N. Latimori y A. Kloster (ed) Invernada bovina en zonas mixtas. Claves para una actividad más rentable y eficiente (2ª edición ampliada). Ediciones INTA, EEA Marcos Juárez, pp. 131-154.
- 8- LATIMORI, N. y A. KLOSTER. 1997. Suplementación sobre pasturas de calidad en invernada bovina en zonas mixtas. Claves para una actividad más rentable y eficiente. *In*: Centro Regional Córdoba INTA (ed.) Agro II de Córdoba. EEA Marcos Juárez, pp. 93-116.
- 9- MARTÍNEZ FERRER, J., J. SIMONDI, M. A. BRUNETTI, E. USTARROZ, M. DE LEÓN, M. del C., SPADA, C. GONZÁLEZ PALAU, C. RAMOS, A. GARCÍA ASTRADA y F. FAYA. 2002a. Asignación forrajera y suplementación energética en invernadas pastoriles. 1. Consumo de forraje, consumo total y eficiencia de utilización de la pastura. Rev. Arg. de Prod. Animal. Vol. 22 (Supl. 1): 8-9.
- 10- MARTÍNEZ FERRER, J., J. SIMONDI, M. A. BRUNETTI, E. USTARROZ, M. DE LEÓN, M. del C., SPADA, C. GONZÁLEZ PALAU, C. RAMOS, A. GARCÍA ASTRADA y F. FAYA. 2002b. Asignación forrajera y suplementación energética en invernadas pastoriles. 2. Aumento de peso individual y por hectárea. Rev. Arg. de Prod. Animal. Vol. 22 (Supl. 1): 9-10.
- 11- MERTENS, D. R. 1994. Regulation of forage intake. *In*: G. C. Fahey, Jr. (ed.) Proc. of the National Conference on Forage Quality Evaluation and Utilization. University of Nebraska, Lincoln. Nebraska, USA. April 13-15, p. 43.
- 12- OWENS, F. N. and J. H. THORNTON. 1976. Moisture content versus intake and energy value of high moisture corn. Proc. High Moisture Grain Symposium. Oklahoma State University, Stillwater, OK, USA, p. 193.
- 13- PIONEER FORAGE MANUAL. 1990. A Nutritional Guide. Pioneer Hi-Bred International Inc., USA, 55 p.
- 14- SANTINI, F. y J. ELIZALDE. 1993. Utilización de granos en alimentación de rumiantes. Rev. Arg. de Prod. Animal Vol.13 (1): 39-60.
- 15- USTARROZ, E. 1993. Suplementación en pasturas de buena calidad. *In*: Jornada de actualización para profesionales sobre Suplementación en Producción de Carne. INTA. EEA Manfredi, pp. 7-18.
- 16- USTARROZ, E., M. A. BRUNETTI, C. GONZÁLEZ PALAU, A. GARCÍA ASTRADA, F. FAYA, C. RAMOS y M. TORRENT. 1998. Efecto de la suplementación con grano de maíz y la oferta forrajera sobre la ganancia de peso vivo individual y por hectárea de novillos en pastoreo de alfalfa. Rev. Arg. de Prod. Animal Vol 18 (Supl. 1): 58-59.
- 17- USTARROZ, E., A. KLOSTER, N. LATIMORI, M. ZANIBONI, y D. MÉNDEZ, D. 1997. Intensificación de la invernada sobre pasturas base alfalfa. *In*: Primer Congreso Nacional sobre Producción Intensiva de Carne. INTA-Forrajes & Granos. Bs. As., Arg., pp. 181-204.
- 18- VERITE, R. et M. JOURMET. 1970. Influence de la teneur en eau et de la déshydratation de l'herbe sur sa valeur alimentaire pour les vaches laitières. Ann. Zootech 10: 269-277.
- 19- VIGLIZZO, E. y Z. ROBERTO. 1993. Alimentación práctica de bovinos en pastoreo. Serie de Divulgación Técnica. Proyecto Integrado Pampas. INTA, 20 pp.





## Producción de heno, silaje y henolaje de alfalfa

*Ing. Agr. (MSc., PhD) Néstor Antonio Juan*  
EEA Anguil «Guillermo Covas» - INTA  
*Ing. Agr. (PhD) Enrique M. Viviani Rossi*  
EEA Valle Inferior Río Negro - INTA



## Introducción

Por su gran potencial de producción de forraje con altos niveles de proteína y energía, la alfalfa es uno de los pilares sobre los que se asienta la ganadería argentina. A esto debe sumarse su alto contenido de vitaminas (o sus precursores) A, E y K y de la mayoría de los minerales requeridos por el ganado productor de leche y carne, en especial calcio, potasio, magnesio y fósforo (6, 5) (Cuadro 1). Estas características justifican los esfuerzos dedicados a conservar el forraje de alfalfa, lo que permite transferir su producción primavero-estival a otras épocas del año y/o a otras regiones fuera de su área de cultivo. Para ello se utilizan diversas técnicas de conservación de forraje, tanto en seco como en húmedo, que serán descriptas y analizadas en el presente capítulo.

El rol de los forrajes conservados en los sistemas de producción de carne y leche de la Argentina ha ido evolucionando a través del tiempo. En el pasado, la producción y el almacenamiento de reservas forrajeras eran considerados como un «seguro» contra emergencias que pudieran disminuir la producción de forraje, tales como períodos prolongados de sequía, anegamiento, temperaturas extremas o ataques de plagas y enfermedades. En la actualidad, los forrajes conservados de alta calidad son considerados un componente vital en los sistemas de alimentación animal que buscan aumentar la producción ganadera mediante el incremento de la carga animal y/o la producción individual (41).

**CUADRO 1** - Composición nutritiva del heno de alfalfa en función del corte en diferentes estados fenológicos. Adaptado de Holland y Kezar (33).

Estado Fenológico	PB	LIG	Ca	Mg	P	K	TND
	..... % sobre MS .....						
Vegetativo tardío	23	5	1,8	0,26	0,35	2,21	66
Botón floral	20	7	1,5	0,24	0,29	2,56	63
Floración temprana	18	8	1,4	0,33	0,22	2,52	60
Floración media	17	9	1,4	0,31	0,24	1,71	58
Floración tardía	15	10	1,2	0,31	0,22	1,53	55

PB: proteína bruta; LIG: lignina; Ca: calcio; Mg: magnesio; P: fósforo; K: potasio; TND: total de nutrientes digestibles.

En la Argentina, debido a la predominancia del aprovechamiento directo (pastoril), la superficie anual de alfalfa destinada exclusivamente a cosecha mecánica para la producción de forraje conservado es escasa, en contraposición a lo que ocurre en otros países en los que predomina el aprovechamiento bajo corte. Si bien no existen estadísticas oficiales, se estima que en nuestro país se conservan anualmente como heno cerca de 3,2 millones de tn de alfalfa pura y de 800.000 tn de alfalfa consociada, y como silaje, alrededor de 130.000 tn (*Ing. Agr. M. Bragachini, comunicación personal*). Por su parte, en EE.UU. -el mayor productor mundial- el volumen total de alfalfa conservada alcanza los 85 millones de toneladas anuales (62).

Estos volúmenes de forraje conservado en la Argentina pueden ser producidos en la actualidad gracias al avance tecnológico que ha tenido lugar en los últimos años, principalmente en materia de maquinarias específicas para tal fin. La aparición en la década del '40 de las primeras enfardadoras automáticas, y la proliferación a partir de la década del '80 de las arrolladoras, revolucionaron la conservación de forraje henificado de alfalfa, permitiendo reemplazar el alto requerimiento de mano de obra por los medios mecánicos de gran capacidad de trabajo. En la década del '90 irrumpieron masivamente los equipos para producción, almacenamiento y suministro de silajes y henolajes (picadoras, embolsadoras, empaquetadoras, extractores mecánicos, carros mezcladores, etc.), lo que dio un nuevo impulso a la conservación de recursos forrajeros, entre ellos, la alfalfa (9, 8). La disponibilidad de variedades de mayor producción, persistencia, sanidad y valor nutritivo, y el desarrollo de insumos químicos como desecantes, conservantes y aditivos, han contribuido también a aumentar la producción de forrajes conservados.

La principal forma de conservación de la alfalfa en el mundo es la henificación. En los Estados Unidos sólo el 15-20 % es conservada en forma de silaje y henolaje, mientras que el 80% lo es en forma de heno, sea como fardos prismáticos convencionales o gigantes (55%) o como rollos (25%). Si bien en la Argentina no se cuenta con estadísticas recientes, se estima que el heno de alfalfa pura se produce en proporciones similares como fardos y como rollos, y que en el caso de pasturas de alfalfa consociadas predomina la forma de rollos (85%) sobre la de fardos (15%). Una porción menor de la producción de alfalfa se conserva como silaje o henolaje, sea utilizando la forma tradicional de silo puente (subterráneo) o las técnicas más modernas, como el embolsado de material picado en bolsas plásticas herméticas o el empaquetado de rollos húmedos con filme (película) de polietileno. Otra forma de conservación de la alfalfa es por medio del deshidratado y posterior compactado para producir pequeños cubos o pellets de alta densidad, aunque en la Argentina -al menos en la actualidad- el volumen procesado de esta manera es de poca importancia.

Cualquiera que sea el método de conservación de alfalfa que se elija, es muy importante tener en cuenta que ninguno de ellos puede incrementar la cantidad ni la calidad del forraje en pie que se quiere conservar. Esto es así porque a partir del corte se producen pérdidas por diversos motivos (respiración, lixiviación, fermentaciones indeseables, caída de material, insolación, contaminación con microorganismos y suelo, etc.) que afectan, en mayor o menor grado, el volumen y la calidad de la reserva producida. Demarquilly y Jarrige (18) demostraron este concepto cuando, al analizar 117 muestras de forraje en pie, 108 de henos y 56 de silajes, hallaron que el proceso de henificación había hecho disminuir -respecto de los cultivos en pie- el consumo animal voluntario hasta 32,6% y la digestibilidad de la materia seca hasta 15%. En el Cuadro 2 se presenta una estimación de la magnitud de las pérdidas de calidad y cantidad que tienen lugar durante los procesos de henificado y ensilado. Según Rotz y Muck (73), las pérdidas promedio en la producción de heno oscilan entre 24 y 28% (de

**CUADRO 2** - Pérdidas de materia seca y cambios en la concentración de nutrientes durante la producción de heno y silaje de alfalfa. Adaptado de Rotz y Muck (73).

Causa de pérdida	Pérdida de MS (%)		Cambios en la concentración de nutrientes (% de MS)		
	Rango	Normal	PB	FDN	TND
<b>Respiración</b>	1-7	4	0,9	1,7	-1,7
<b>Lluvias</b>					
5 mm	3-7	5	-4,0	1,4	-1,5
25 mm	7-27	17	-1,7	6,0	-7,0
50 mm	12-50	31	-3,5	14,0	-14,2
<b>Corte y acondicionado</b>	1-4	2	-0,7	1,2	-1,4
<b>Aireado andanas</b>	2-8	3	-0,5	0,9	-1,2
<b>Volteo andanas</b>	1-3	1	0	0	0
<b>Rastrillado</b>	1-20	5	-0,5	1,0	-1,2
<b>Recolección</b>					
<b>Fardo</b>	2-6	4	-0,9	1,5	-1,9
<b>Rollo</b>	3-9	6	-1,7	3,1	-3,8
<b>Picado (silaje)</b>	1-8	3	0	0	0
<b>Almacenamiento heno</b>					
<b>Intemperie</b>	6-30	15	0	5,0	-7,0
<b>Bajo techo</b>	3-9	5	-0,7	2,2	-2,1
<b>Tipo de silo</b>					
<b>Hermético</b>	6-14	8	1,4	0,7	-3,7
<b>Vertical</b>	7-17	10	1,8	1,7	-4,7
<b>Trinchera</b>	10-16	12	2,3	2,7	-5,6

MS: materia seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra detergente neutro; y TND: total de nutrientes digestibles.

las cuales sólo el 10-20% ocurren en la etapa de almacenamiento) y en la producción de silaje entre 14 y 24% (de las cuales el 50-80% ocurren durante el almacenamiento) (Figura 1). Las distintas técnicas de conservación de forrajes, tanto en seco como en húmedo, apuntan a minimizar el deterioro de cantidad y de calidad que se produce desde el momento del corte hasta el momento del suministro a los animales.

## Estimación de la calidad del forraje de alfalfa conservado

Considerando que el costo de la alimentación representa el egreso más significativo en la mayoría de las explotaciones ganaderas, es fundamental que los forrajes conservados que se produzcan sean de la más alta calidad posible, entendiéndose por calidad al valor nutritivo que ofrecen a los animales. Definiremos brevemente los parámetros más comúnmente utilizados para evaluar el valor nutritivo del forraje de alfalfa conservado.

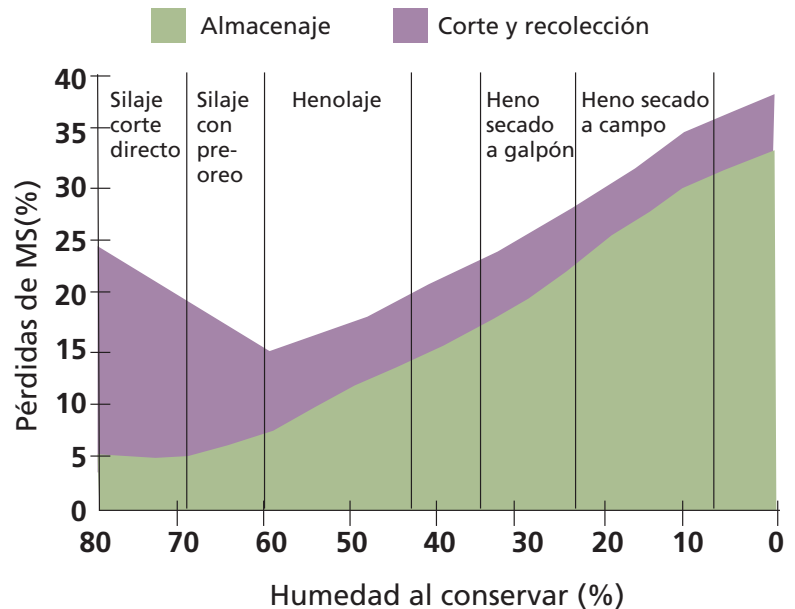


FIGURA 1 – Estimación de las pérdidas de materia seca (MS) durante el corte y el almacenamiento de forrajes conservados con distintos contenidos de humedad. Adaptado de Holland y Kezar (33)

## Evaluación organoléptica

Es la evaluación hecha a través de los sentidos de la vista, el olfato y el tacto. Si bien este método es válido como una primera apreciación, no brinda adecuada información acerca del potencial nutritivo del forraje y debe ser complementado con otros parámetros menos subjetivos (33, 38). Las evaluaciones organolépticas más usadas en alfalfa son:

### Heno

**Madurez o estado fenológico:** aunque de no fácil estimación en forraje ya enfardado (fardo o rollo), la presencia de botones florales, flores y frutos (vainas o carretillas) da una idea del estado de madurez en que fue cortado el cultivo. Ya ha sido descrita anteriormente la relación que existe entre desarrollo fenológico y valor nutritivo de la alfalfa.

**Foliosidad:** la estimación de la proporción de hojas presentes es un buen indicador, ya que las hojas son la porción de mayor calidad, conteniendo aproximadamente el 70% de la proteína, el 90% del caroteno y más del 65% de la energía digestible de la planta de alfalfa.

**Materiales extraños:** estima el grado de contaminación con malezas, rastrojos de alfalfa y de otros cultivos, rocas, tierra y otros materiales con poco o ningún valor como alimento y que, eventualmente, pueden ser peligrosos para la salud animal.

**Olor y presencia de hongos:** un buen heno de alfalfa no debería presentar olores desagradables (producto de fermentaciones indeseables) ni desarrollo fúngico visible. Estos parámetros, junto con el color, están estrechamente relacionados con la humedad a la que se enfardó y con la temperatura alcanzada durante el almacenamiento. Calentamientos por encima de 50 C, consecuencia de respiración microbiana, son seguramente provocados por un enfardado con excesiva humedad.



**Color:** un color verde brillante es un indicador de que el forraje fue secado rápida y adecuadamente, sin sufrir daño por lluvias o por exceso de temperatura. El color amarillo indica un exceso de exposición al sol durante el secado, mientras que la intercalación de capas blanquecinas en el heno verde indica desarrollo fúngico como consecuencia de haberse enfardado con exceso de rocío sobre la andana. Henos que alcanzaron temperaturas de 55 °C muestran un color marrón acaramelado, mientras que si la temperatura sobrepasó los 60 °C se verá color marrón oscuro a negro. A pesar de que el color es un parámetro indicativo de calidad, no es confiable como estimador de la digestibilidad del heno.

## **Silaje y henolaje**

**Madurez, foliosidad y materias extrañas:** en silajes y henolajes de picado fino, debido al pequeño tamaño de partícula resultante, no es posible determinar visualmente estos parámetros. En cambio, sí es posible hacerlo en henolaje de rollos confeccionados con forraje entero, aunque con menor precisión que en heno. En este caso, se aplican los mismos conceptos descriptos para heno.

**Color:** un buen silaje de alfalfa debe ser de color verde oscuro a marrón verdoso. Un color marrón oscuro o marrón-negro estaría indicando que hubo un calentamiento excesivo, como consecuencia de un llenado lento del silo, una entrada de aire, una humedad insuficiente, un tamaño de partícula demasiado grande o una insuficiente compactación.

**Olor:** debe ser agradable y levemente ácido. El olor atabacado indica exceso de temperatura en el silo; el olor rancio indica una fermentación clostridial no deseable, productora de ácido butírico; el olor avinagrado indica alta presencia de ácido acético en lugar de ácido láctico; y el olor a alcohol indica una fermentación dominada por levaduras indeseables.

**Presencia de hongos:** Dado que los hongos sólo pueden vivir en presencia de oxígeno, su aparición en el silaje en forma de polvillo blanco u oscuro indica un sellado inapropiado del silo y/o una deficiente compactación.

## **Evaluación mediante análisis de laboratorio y animales experimentales**

Los métodos de laboratorio se basan en reacciones químicas y procesos de secado e incinerado que permiten estimar el contenido de los componentes químicos del forraje. En general, demandan mucho tiempo, mano de obra y drogas, pero tienen una masiva difusión en el ámbito mundial y sus resultados son ampliamente aceptados. Existen numerosos parámetros para caracterizar la calidad del heno de alfalfa, pero los principales, desde el punto de vista práctico, son: proteína bruta, digestibilidad de la materia seca y consumo animal voluntario de materia seca.

**Proteína Bruta (PB):** es el principal nutriente que aporta la alfalfa a la dieta animal y su concentración es comúnmente estimada mediante el método Kjeldahl o el método de combustión Dumas. Dichas técnicas miden el contenido de nitrógeno (N) total del forraje que, al ser multiplicado por el factor 6,25, da una estimación del % PB. En forraje conservado que ha sufrido un calentamiento excesivo, parte de la PB puede ligarse fuertemente a componentes de la pared celular, lo que la hace no digestible por el animal; en estos casos, además del % de PB total, es necesario contar con una estimación del % PB insoluble o indigestible (49, 16).

**Materia Seca Digestible (DMS):** la DMS estima la proporción del forraje consumido que es retenida en el cuerpo del animal y que provee los nutrientes necesarios para las funciones de mantenimiento, crecimiento y producción. Pueden estimarse mediante métodos directos e indirectos.

## Métodos directos de estimación:

■ *Digestibilidad in vivo* (en animal): se mide en ensayos que relacionan la cantidad de materia seca consumida por animales mantenidos a corral durante 10-15 días y la cantidad de heces producida. La diferencia entre ambas mediciones, llevada a porcentaje, define la digestibilidad aparente del forraje.

■ *Digestibilidad in vitro* (en tubos de ensayo): es un procedimiento que consta de dos etapas: en la primera, la muestra de forraje es digerida usando líquido ruminal de un animal donante, a fin de simular la digestión en el rumen; en la segunda, la muestra es digerida con una solución enzimática a efectos de simular la digestión en el intestino delgado. La diferencia entre el peso seco inicial de la muestra y el peso del residuo final indica la digestibilidad del forraje (83).

■ *Degradabilidad in situ*: las muestras de forraje, contenidas en pequeñas bolsas de nylon (dacron), son colocadas en el rumen de animales fistulados que consumen una dieta similar al forraje evaluado. La diferencia entre la cantidad de materia seca inicial y el residuo que se obtiene luego de una determinada cantidad de horas de permanencia en el rumen proporciona el porcentaje de degradabilidad ruminal.

## Métodos indirectos de estimación:

Entre las formas indirectas utilizadas para estimar la DMS del forraje se encuentra la técnica de determinación de pared celular de Van Soest, o método de detergentes (25). En este método la muestra es digerida por una hora en una solución detergente a pH=7, lo que produce la solubilización de los contenidos celulares altamente digestibles como azúcares, almidón, pectinas, carbohidratos solubles, proteínas, nitrógeno no proteico, vitaminas y minerales. La porción insoluble -compuesta por hemicelulosa, celulosa, lignina y sílice- es la fracción llamada *fibra detergente neutro* (FDN) o, más comúnmente, *pared celular*. Cuando la muestra es tratada con detergente ácido, que disuelve la hemicelulosa, el residuo insoluble -que se compone de celulosa, lignina y sílice- recibe el nombre de fibra detergente ácido (FDA). Sobre la base de que la proporción de FDA de un forraje está negativamente correlacionada con su DMS, esta última puede ser estimada mediante la fórmula:

$$\% DMS = 88,9 - (0,7790 \times \% FDA)$$

*Consumo Animal Voluntario de Materia Seca (CMS)*: el CMS es uno de los principales parámetros que determinan la productividad animal. Al igual que en el caso de DMS, el CMS puede ser estimado directa o indirectamente. En el primer caso, mediante ensayos con animales, se mide el suministro y el rechazo de materia seca; desafortunadamente, estos métodos son lentos y demandan mucha mano de obra. Entre los indirectos, una forma de estimar el CMS (como % del peso vivo) es calcular primero el valor de FDN a través del método de Van Soest, y luego -dada la fuerte correlación negativa entre FDN y CMS- inferir el consumo voluntario mediante la fórmula (49):

$$\% CMS = \frac{120}{\% FDN}$$

*Otros parámetros de calidad*: además de los anteriores, la calidad también puede estimarse a través de la determinación del contenido de *lignina detergente ácido* (LDA) o del cálculo de *valor nutritivo relativo* (VNR). La lignina es un componente que se incrementa con la madurez y que, por ser prácticamente indigestible e interferir con la digestión de la celulosa y la hemicelulosa, está negativamente correlacionado con el valor nutritivo del forraje. Para

determinar el valor de LDA, se estima primero la concentración de FDA; del residuo que queda, compuesto por lignocelulosa, se disuelve y separa la celulosa por medio de una solución de ácido sulfúrico al 72 %, quedando un nuevo residuo de lignina y ceniza no soluble en ácido.

El VNR se calcula relacionando los valores estimados de DMS y de CMS a través de la siguiente fórmula:

$$VNR = \frac{\%DMS - \%CMS}{1,29}$$

El VNR, que no posee unidades absolutas, es una manera simple de cuantificar el potencial alimentario de un forraje. En la actualidad, es ampliamente usado en EE.UU. para balancear raciones y para fijar el precio de comercialización del heno. En el Cuadro 3 se muestra una escala propuesta para categorizar al heno de alfalfa de acuerdo con su VNR.

**CUADRO 3** - Categorización del heno de alfalfa sobre la base de su valor nutritivo relativo estimado por diferentes parámetros. Adaptado de Undersander y col. (84)

Categoría	Uso más común	Madurez	VNR	FDA	FDN
Súper	Equinos de alto valor; Conejos	Prebotón floral	> 151	< 31	< 40
Primera	Vacas lecheras de alta producción; equinos	Botón floral	151 - 125	31 - 35	40 - 46
Segunda	Vacas lecheras de mediana producción; vaquillonas y novillitos	10% Floración	124 - 103	36 - 40	47 - 53
Tercera	Novillos en engorde	50% Floración	102 - 87	41 - 42	54 - 60
Cuarta	Vacas de cría; novillos en engorde	100% Floración	86 - 75	43 - 45	61 - 65
Quinta	Vacas de cría	Principio fructificación	< 75	> 45	> 65

VNR: valor nutritivo relativo; FDA: fibra detergente ácido; y FDN: fibra detergente neutro.

### **Evaluación mediante análisis instrumental**

Una técnica alternativa para estimar el valor nutritivo de los forrajes es la espectroscopia en infrarrojo cercano, conocida como *NIRS* por sus siglas en inglés. Este método computarizado permite estimar en forma rápida, económica y no destructiva para la muestra, el contenido de PB, FDN, FDA, DMS, lignina, carbohidratos solubles y otros compuestos orgánicos del forraje; para ello, utiliza la radiación electromagnética de infrarrojo cercano en lugar de reacciones químicas. La técnica se basa en el hecho de que cada componente orgánico de una muestra presenta patrones diferentes de absorción, reflexión y transmisión de las distintas longitudes de onda de la radiación infrarroja. En ese contexto, la muestra es iluminada con esta clase de radiación y la información producida es transmitida a una computadora que la compara con la información espectral de muestras previamente analizadas por métodos convencionales de laboratorio. Finalmente, el contenido de los diferentes nutrientes de la muestra es estimado mediante ecuaciones matemáticas de predicción (54, 80).

## Conservación en seco: fardos, rollos y cubos

La conservación en seco, o henificación, consiste en reducir lo más rápidamente posible el contenido de humedad del forraje fresco. En el caso de la alfalfa, y partiendo de un contenido de humedad que oscila entre 70 y 85%, el objetivo es llegar a 18-20%, nivel en que la respiración celular y la actividad de los microorganismos descomponedores son casi nulas. Esta rápida desecación permite no sólo capturar la mayoría de los nutrientes presentes en el forraje sino también almacenarlos por largos períodos, sin que se produzcan cambios sustanciales en su composición. La henificación fue el primer proceso utilizado por el hombre para conservar forraje, lo que permitía aprovechar el excedente de forraje verde de primavera y verano para utilizarlo durante el invierno u otros períodos de escasez.

Una gran cantidad de factores, manejables en menor o mayor medida por el hombre, influye sobre el proceso de henificado y son la causa de los resultados tan variables que se observan en cuanto a la calidad final del material. Romero y col. (71, 72) realizaron una evaluación preliminar de la calidad de rollos realizados con pasturas base alfalfa en campos de la zona central de Santa Fe y concluyeron que -al momento de su utilización- la calidad de esas reservas fue baja, con contenidos de FDN entre 63 y 74% y con valores de digestibilidad *in vitro* (DIVMS) de 45 a 55%. También Zubizarreta (93), analizando muestras de alfalfa conservada tomadas en tambos y campos de invernada en la zona de Trenque Lauquen (Bs. As.), observó una gran variabilidad de calidad, con rangos de 71 a 52% en digestibilidad y de 23 a 10% en el contenido de PB. Evaluaciones realizadas por Barrenechea y Pozzo (3) en la cuenca lechera de Villa María (Cba.), indicaron que el 80% de los henos de alfalfa muestreados eran de calidad mediana a baja, y sólo el 20% eran adecuados para lograr un consumo de materia seca lo suficientemente alto y compatible con planteos lecheros de alta producción.

### Factores que modifican el rendimiento y la calidad del heno

Podemos dividir al proceso de henificación en cuatro etapas: 1) corte; 2) secado; 3) recolección; y 4) almacenamiento. En cada una de ellas pueden actuar factores que afecten el rendimiento y la calidad del producto final.

#### 1) Corte

##### Estado de madurez

El estado fenológico o de madurez de la planta es el factor individual más importante a tener en cuenta en el momento del corte para producir forraje conservado de alta calidad, ya que expresa el efecto acumulado que el medio ambiente y el genotipo tienen sobre la planta (55). El desarrollo fenológico de la alfalfa puede caracterizarse de varias formas. En términos generales se habla de cuatro estados: vegetativo, botón floral, floración y semillazón, aunque otras escalas incluyen también estados intermedios. Kalu y Fick (44) desarrollaron una escala numérica -luego perfeccionada por Fick y Mueller (22)- que incluye tres estados vegetativos, dos de botón floral, dos de floración y tres de semillazón, y que brinda un sistema más preciso y menos subjetivo que las anteriores. Una descripción completa de esta escala se ofrece en el Capítulo 2 de este libro.

Numerosos trabajos han demostrado no sólo los cambios que se producen en la composición química de la alfalfa asociados a cambios en el estado de madurez (2, 44), sino también la alta correlación existente entre la calidad del forraje en pie y la calidad del heno (17). En los estados maduros la alfalfa es menos digestible y posee menor potencial de consumo voluntario y de producción animal que en los estados inmaduros; estos cambios están asociados a una declinación en el contenido de PB y a un incremento en la concentración de fibras (FDA y FDN) y lignina (Cuadro 4). Kalu y Fick (44) estimaron una disminución prome-

dio de 4% en la DMS por cada unidad de disminución del estado de madurez según su escala. Otros estudios determinaron disminuciones diarias de 0,3% en DMS y de 0,2% en PB durante los crecimientos de primavera. Por su parte, Berger y col. (6) calcularon que por cada día de desarrollo del cultivo, la DMS y la PB disminuían 0,6 y 0,5%, respectivamente. La disminución de calidad es generalmente más rápida en el verano que en la primavera, debido a la aceleración del desarrollo fenológico y a las mayores pérdidas de carbohidratos no

estructurales por respiración que se producen durante el período estival.

**CUADRO 4** - Efecto del estado de madurez sobre la concentración de proteína bruta, la digestibilidad de la materia seca y el potencial de consumo animal de materia seca del forraje de alfalfa. Adaptado de Undersander y col. (84) y de Holland y Kezar (33).

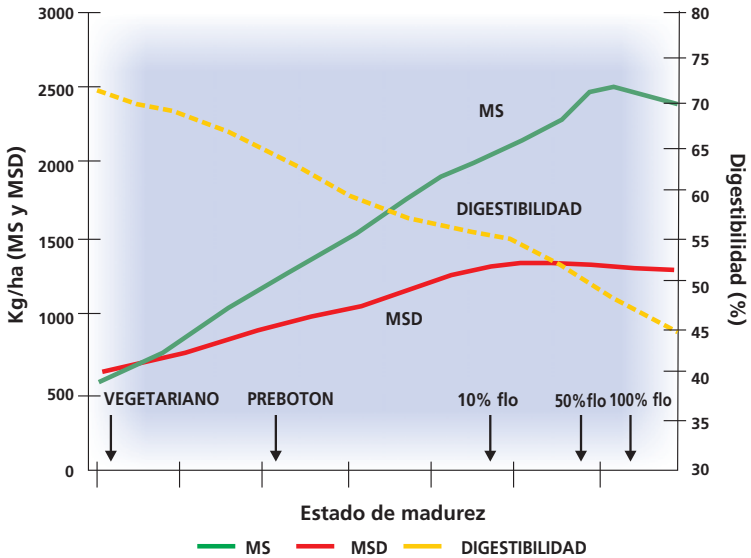
Madurez	PB	DMS	CMS
	----- (% sobre MS) ----	---- (% PV) ----	
Prebotón floral	>20	>65	>3,0
Botón floral	19 -20	62-65	3,0-2,6
10% floración	16 -19	58-61	2,5-2,3
50% floración	13 -16	56-57	2,2-2,0
100% floración	11 -13	53-55	1,9 -1,8
Principios semillazón	<11	<53	<1,8

PB: proteína bruta; DMS: digestibilidad de la materia seca; CMS: consumo de materia seca; Y PV: peso vivo.

La relación que existe entre madurez, valor nutritivo y rendimiento de materia seca de la alfalfa también ha sido claramente demostrada por numerosos investigadores (Figura 2). A medida que se va postergando el corte de la alfalfa hacia el estado de floración, el rendimiento por hectárea aumenta linealmente debido al incremento en peso de la fracción tallo; a su vez, esto va asociado a una disminución de la relación hoja:tallo y a cambios en la composición química que determinan un menor valor nutritivo (79). A partir del estado

de floración tardía el valor nutritivo sigue declinando, y el rendimiento también comienza a disminuir debido a la caída de las hojas basales (13). Por otro lado, los cortes en estados muy inmaduros (vegetativo a prebotón floral) producen forraje de alta calidad pero -además de producir menores rendimientos- pueden comprometer la supervivencia del cultivo por no permitir una suficiente acumulación de reservas en las raíces.

El porcentaje de hojas (expresado en peso seco) puede ser tan alto como 70% en estado de prebotón floral, y tan bajo como 30% en estado de semillazón temprana. Esta disminución de la relación hoja:tallo con el avance de la madurez tiene un alto impacto sobre el valor nutritivo de la alfalfa, ya que las hojas son más digestibles, tienen un contenido de proteína dos a tres veces mayor que los tallos (aun en

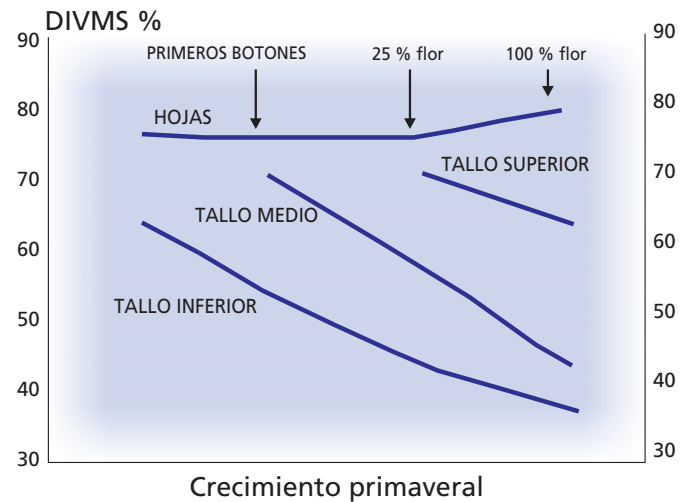


**FIGURA 2** – Variación de la producción de materia seca (MS), del rendimiento de materia seca digestible (MSD) y del porcentaje de digestibilidad total (DIGESTIBILIDAD) de la alfalfa en función de los estados de madurez a lo largo de un ciclo de crecimiento primaveral. Adaptado de Wilken y col. (92).



estados inmaduros) y su calidad se deteriora mucho más lentamente con la madurez que la de los tallos (13) (Figura 3).

No existe un estado de madurez óptimo para cortar alfalfa, dado que éste dependerá del objetivo de producción al que se destina el forraje conservado y de los requerimientos de los animales (39, 40, 37). Por lo común, se trata de alcanzar un equilibrio entre el rendimiento de materia seca y su valor nutritivo, relación que se expresa como el rendimiento de nutrientes por unidad de superficie. En términos generales, el punto de mayor rendimiento de nutrientes  $\text{ha}^{-1}$  para el cultivo de alfalfa se ubica entre principios y mediados de floración. No obstante, esto no es una regla fija ya que, por ejemplo, para lograr similar calidad bajo condiciones que favorezcan la caída de hojas (zonas húmedas y/o variedades susceptibles a enfermedades foliares) es necesario hacer cortes más tempranos que bajo condiciones que favorezcan la retención de hojas (regiones más secas y/o alfalfas resistentes).



**FIGURA 3** – Variación del porcentaje de digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) de hojas y segmentos (inferior, medio y superior) de tallos de alfalfa en función de los estados de madurez a lo largo de un ciclo de crecimiento primaveral. Adaptado de Buxton y col. (13).

## Maquinaria de corte e hilerado

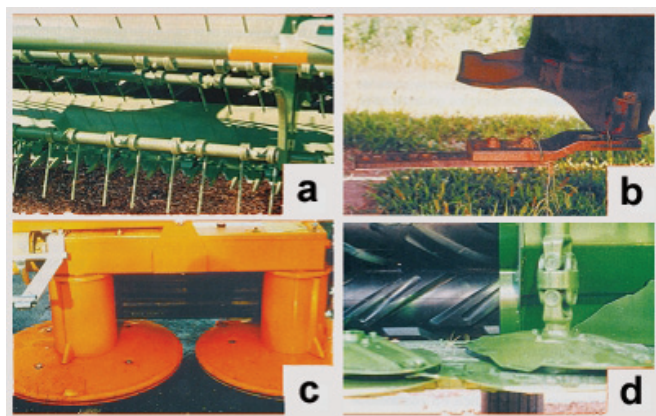
La maquinaria más conveniente es aquella que combina alta capacidad de trabajo con buena adaptación a distintas situaciones de rendimiento de forraje, presencia de malezas, tipo de cultivo, etc. Es deseable que la máquina realice un corte neto y sin deshilar, y principalmente que no haga «repicado» del forraje para evitar pérdida de hojas. Para permitir un rápido secado, la andana dejada por la segadora debe ser esponjosa, aireada y uniforme en ancho y densidad para permitir un rápido secado. Existen distintos sistemas y máquinas de corte (9, 8):

**Segadoras de movimiento alternativo:** cortan con secciones de cuchillas triangulares montadas sobre una barra que se desplaza alternativamente (Figura 4a). Cuando las secciones y las contracuchillas están correctamente afiladas, realizan un corte neto y sin repicado que prácticamente no supone pérdidas de material vegetal. Como desventajas se mencionan su baja velocidad de avance, sus frecuentes atascamientos en cultivos densos y/o enmalezados, su poca adaptación a terrenos desparejos y sus altos costos de mantenimiento.

**Segadoras de movimiento rotativo:** cortan por sistema de impacto, siendo su efectividad dependiente de la velocidad tangencial de la cuchilla y de su filo. Según el tipo de elemento cortante, se dividen en: i) de *hélice*: constan de dos ejes verticales que poseen en su extremo dos cuchillas «locas» y opuestas a  $180^\circ$  (Figura 4b). Tienen bajos requerimientos de mantenimiento y gran capacidad de trabajo, aun en cultivos densos, volcados o enmalezados; pero pueden producir un corte deshilarado, pérdida de pequeños trozos de forraje y caída de hojas, especialmente si la alfalfa está en madurez avanzada; ii) de *tambor*: constan de dos rotores con cuchillas «locas» de dos o cuatro filos (Figura 4c); poseen una alta capacidad de trabajo y de adaptación a cultivos densos y enmalezados, realizando un corte de mayor calidad y con menores pérdidas que las máquinas de hélice, y iii) de *discos*: poseen pequeñas cuchillas montadas sobre varios discos que giran a alta velocidad (Figura 4d); producen un corte neto, sin repicado y con escaso desprendimiento de hojas, ofreciendo una alta velocidad de trabajo y un buen copiado del terreno. Es el sistema de mayor uso en Europa y los



EE.UU. En la Argentina fueron introducidas a mediados de los '90 y ocupan actualmente una importante porción del mercado. Como desventajas de este sistema se mencionan sus dificultades en alfalfares con malezas de tallos duros y sus mayores posibilidades de roturas por poseer más mecanismos en movimiento.



**FIGURA 4** – Distintos sistemas de corte de forraje: a- barra alternativa con cuchillas triangulares; b- movimiento rotativo de hélice; c- movimiento rotativo de tambor; y d- movimiento rotativo de discos

### Altura de corte

La alfalfa presenta marcadas diferencias en el valor nutritivo de las porciones superior e inferior de la planta. La DMS, el contenido de carbohidratos no estructurales y el contenido de PB disminuyen desde el ápice hacia la base de la planta. Estas diferencias se deben a una menor proporción de hojas y a una mayor concentración de lignina y de pared celular en la porción inferior de los tallos (11) (Cuadro 5). Según Buxton y col. (13), la DMS de los tallos disminuye hacia la base a razón de 2% por cada nudo, siendo las concentraciones de lignina y de pared celular las responsables del 95% de la variación en DMS entre entrenudos del tallo (Figura 3).

Desde el punto de vista de la supervivencia de las plantas y de la velocidad de rebrote, no existen ventajas que justifiquen dejar remanentes de más de 5-7 cm de altura. La decisión sobre a qué altura cortar para henificar alfalfa debe basarse, al igual que en el caso del estado de madurez, en un compromiso entre calidad y rendimiento de materia seca.

### Presencia de malezas

La presencia de malezas en cultivos destinados a henificación tiene efectos directos e indirectos. Los efectos directos se relacionan con el valor nutritivo *per se* de las malezas presentes, que depende de la especie de que se trate y de su estado fenológico. En general, las malezas tienen un valor nutritivo inferior al de la alfalfa, aunque algunas especies -particularmente en estados inmaduros- pueden alcanzar contenidos similares o aun superiores de PB, DMS y CMS. Ejemplos de este tipo de malezas son el «diente de león» (*Taraxacum officinale* Weber), el «girasol guacho» (*Helianthus tuberosus* L.), el «yuyo colorado» (*Amaranthus quitensis* H.B.K.), la «quínoa» (*Chenopodium album* L.) y la «ambrosia» (*Ambrosia artemisiifolia* L.) (53).

**CUADRO 5** - Calidad del forraje del alfalfa según época del año y mitad (superior o inferior) de la planta. Adaptado de Bruno y col. (11).

Época	Fracción planta	PB	FDN	FDA	LDA	DMS
Primavera	Mitad inferior	15,8	55,9	39,3	10,1	59,6
	Mitad superior	27,9	37,6	22,0	6,2	76,9
Verano	Mitad inferior	17,0	53,6	38,6	10,5	61,5
	Mitad superior	27,4	38,1	23,0	6,5	75,5

PB: proteína bruta; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; LDA: lignina detergente ácido; y DMS: digestibilidad de la materia seca.

Los efectos indeseables indirectos, comunes en el caso de malezas suculentas y/o de tallos gruesos, están relacionados con las dificultades que presentan para la maquinaria de corte (atascamientos, rotura de cuchillas, etc.) y con su lenta tasa de secado, inferior a la de la alfalfa. Esto último impide el secado rápido y parejo de la andana, con las consiguientes pérdidas de MS y de nutrientes y con el aumento del riesgo a factores climáticos adversos.

Las malezas también pueden afectar la calidad del heno si son no palatables, presentan espinas que hacen que el animal las rechace, o contienen compuestos tóxicos para el ganado; además, el forraje conservado se convierte en una fuente de diseminación de semillas de especies indeseables (65). Por ello, independientemente del valor nutritivo que puedan tener las malezas, su presencia en alfalfares destinados a la producción de reservas de calidad debe ser evitada. Se espera que la posible aparición en el mercado de variedades resistentes al herbicida glifosato («alfalfas RR») contribuya en el futuro a lograr este objetivo (61).

## Plagas y enfermedades

El rendimiento y la calidad del heno pueden ser reducidos por la presencia de diversas plagas y enfermedades, que causan la caída de hojas y consecuentemente la reducción de la relación hoja:tallo, el incremento en el contenido de fibra y/o la disminución en el contenido de PB y caroteno. Por ejemplo, hojas de alfalfa con una infección de tallo negro de verano (*Cercospora medicaginis* Ell. & Ev.), cuyas lesiones cubrían del 25 al 50% de la superficie foliar, presentaban no sólo un contenido de PB considerablemente menor que hojas no infectadas (18% vs. 33%, respectivamente), sino también un mayor contenido de fibra cruda. En otro caso, un cultivo moderadamente infectado con tallo negro de primavera (*Phoma medicaginis* Malbr. & Roum) produjo, respecto de un cultivo no afectado, un forraje con menores valores de DMS, PB y carbohidratos no estructurales y mayores contenidos de FDA, FDN y lignina. Otras enfermedades foliares que afectan la producción de heno en nuestro país son la mancha ocular de la hoja (*Leptosphaerulina briosana* (Poll.) Graham & Lutrell) y el manchón foliar amarillo [*Leptotrochila medicaginis* (Fuckel) H.Schuepp] (30).

Existe abundante evidencia de que ataques severos de pulgones, una de las principales plagas del cultivo en la Argentina (1), producen un aumento en el contenido de lignina y una reducción en el contenido de PB y caroteno. El ataque de esta plaga también ha sido correlacionado negativamente con la DMS del forraje. Un efecto indirecto de la plaga lo constituyen las secreciones azucaradas que dejan sobre las hojas, lo cual favorece el desarrollo de hongos que disminuyen la calidad del heno. Otras plagas importantes en nuestro país -como la isoca de la alfalfa (*Colias lesbia*), la isoca medidora (*Rachiplusia nu* y *R. includens*) y la isoca militar tardía (*Spodoptera frugiperda*)- también afectan negativamente la producción de heno por pérdida de materia seca y disminución de la fracción hoja, especialmente en ataques severos (85). Otros efectos de la incidencia de plagas y enfermedades, que aunque menos conocidos no menos importantes, son los relacionados con la acumulación de compuestos estrogénicos en el forraje. Ataques de pulgón verde (*Acyrtosiphon pisum* Harris) y de enfermedades foliares de origen fúngico han sido correlacionados con aumentos en la concentración de cumestrol y de otros compuestos fenólicos, los que pueden producir desórdenes en el ganado que posteriormente se alimenta con ese heno (50).

## Genotipo

Aun cuando la alfalfa es una de las especies forrajeras de más alto valor nutritivo, igualmente se llevan a cabo trabajos para incrementar su calidad a través del mejoramiento genético (4). El objetivo principal es la obtención de cultivares que no sólo alcancen altas DMS y PB, sino que esos elevados niveles se mantengan a medida que avanza su desarrollo fenológico; eso permitiría un manejo más flexible del cultivo, pudiendo retrasar los cortes sin perder calidad. Hasta hace muy poco tiempo, la selección por mayor calidad resultaba frecuentemente en una disminución del rendimiento de materia seca (32). A partir de 1992 comenzaron a aparecer en el mercado argentino variedades denominadas «HQ» (por su denominación inglesa *high quality*) que, además de presentar altos rendimientos de forraje, fueron seleccionadas específicamente por alta calidad (34). También data de la misma época la introducción en el mercado de variedades de alfalfa multifoliolada (cantidad variable de hojas con más de tres folíolos), que apuntan a ofrecer un mayor valor nutritivo (42, 90, 43).

Actualmente se trabaja también en mejoramiento genético por mayor digestibilidad de tallos, mayor proporción de brotes axilares, mayor resistencia al vuelco, mayor retención de hojas y mayor resistencia al tránsito de maquinaria como formas de incrementar el valor nutritivo (36). No obstante los avances logrados en genética, por el momento la calidad del forraje conservado de alfalfa sigue dependiendo en mayor medida de las técnicas de confección y manejo que de la variedad utilizada.

### **Hora del día**

La influencia de este factor sobre la calidad de la alfalfa henificada se relaciona con dos aspectos: la velocidad de secado y la composición química del forraje. Con respecto al primero, los cortes en horas de la mañana -luego de disipado el rocío- facilitan un rápido secado de la andana y minimizan las pérdidas; por el contrario, los cortes en las últimas horas de la tarde no aprovechan las horas de mayor temperatura e insolación, aumentan las pérdidas por respiración y alargan el período de secado. En relación con la composición del forraje, los cortes a última hora de la tarde tienden a tener una mayor digestibilidad y energía que los cortes a la mañana (56). Esto es así porque durante el día, a través de la fotosíntesis, las plantas acumulan energía en forma de azúcares (carbohidratos solubles no estructurales o CHNE) y almidón, los que alcanzan su máxima concentración hacia el final de la tarde; durante la noche, una parte de ellos es consumida por la respiración, alcanzando su contenido mínimo al amanecer. Las fracciones fibrosas (FDA y FDN) y proteicas no sufren cambios diurnos, pero -por un efecto de dilución- registran menores concentraciones porcentuales en cortes al final del día. Algunos trabajos (56) han demostrado que los rumiantes son capaces de detectar esas variaciones y preferir henos de alfalfa con mayores niveles de CHNE, lo que puede aumentar su consumo hasta en 10%.

Cualquiera que sea la hora elegida, la superficie a cortar en un día no debe ser mayor de la que se puede enfardar o arrollar en el mismo período, de lo contrario, se aumenta innecesariamente el tiempo de exposición de la andana a factores climáticos adversos (60, 92).

### **Volumen de forraje**

La disponibilidad de forraje en el momento del corte influye de manera indirecta sobre la calidad del heno de alfalfa. Por ejemplo, un cultivo de alto rendimiento producirá, para un mismo ancho de corte, andanas de mayor densidad que uno de rendimiento inferior. Las andanas densas demoran más tiempo para secarse, lo que aumenta las pérdidas y el riesgo de exposición a factores climáticos adversos que disminuyen la calidad. Por otro lado, un cultivo de bajo rendimiento producirá andanas de baja densidad, que deben ser juntadas mediante rastrillado para aprovechar la capacidad de trabajo de la máquina recolectora (enfardadora o arrolladora), con el riesgo de pérdida de hojas. Andanas poco densas también provocan mayores pérdidas durante la operación de enfardado (73).

## **2) Secado**

La deshidratación o secado implica la eliminación, en el menor tiempo posible y con mínimas pérdidas de MS y nutrientes, de la mayor parte del agua presente en el forraje. Para dar una idea de la magnitud de este proceso puede mencionarse que en una hectárea de alfalfa cortada a principios de floración con un rendimiento de 10.000 kg de materia verde es preciso eliminar alrededor de 7.500 kg de agua para transformar dicho forraje en heno. El objetivo en alfalfa es «secar rápido y retener las hojas». La etapa de secado a campo dura normalmente entre 2 y 4 días, aunque dependiendo de las prácticas de manejo y de las condicio-

nes climáticas este período puede extenderse desde 1 día hasta más de 15 días (17, 73). Diversos modelos de predicción han identificado a la radiación solar y al potencial de evapotranspiración como los factores ambientales de mayor influencia en el secado, asignando también importancia al tenor de humedad del suelo y a la densidad de andana (51).

### **Fases en el secado a campo de alfalfa cortada**

De acuerdo con Boden (7) y Macdonald y Clark (51) se pueden distinguir las siguientes fases de secado a campo:

■ *Desde el corte al 60% de humedad:* la alfalfa elimina por evaporación el agua depositada en la superficie de la planta (rocío, lluvia) y, a través de los estomas, el agua contenida en las células exteriores de los tejidos. La desecación en esta fase es rápida y fácil siempre que se permita la llegada del aire al forraje. Para facilitar esto último, pueden realizarse tratamientos mecánicos que, como el rastrillado o el aireado, aceleran el secado sin que se produzcan pérdidas importantes de hojas.

■ *Desde el 60% hasta el 30% de humedad:* para poder evaporarse, el agua menos superficial necesita moverse por difusión desde las células interiores hacia el exterior, atravesando la cutícula de composición serosa que recubre a hojas y tallos y que constituye una verdadera barrera contra la desecación. La diferente tasa de secado de hojas y tallos hace que, por ejemplo, cuando la andana tiene una humedad promedio de 40%, la mayoría de las hojas ya esté cerca del 20%, lo que las hace quebradizas y susceptibles a pérdidas si se aplicaran tratamientos mecánicos para favorecer el secado.

■ *Desde el 30% hasta el 18-20% de humedad:* la pérdida de agua se hace más difícil, requiere más energía y depende en mayor medida de las condiciones atmosféricas. Cualquier tratamiento mecánico aplicado en esta fase provocará una alta pérdida de hojas.

### **Pérdidas de MS y nutrientes durante el secado**

Las pérdidas de materia seca (MS) y nutrientes que afectan al forraje de alfalfa cortado pueden ser de varios tipos:

*Pérdidas por respiración:* a partir del momento en que la planta es cortada, la tasa de fotosíntesis disminuye abruptamente. Por el contrario, el proceso de respiración celular disminuye a una tasa mucho menor, manteniéndose casi constante hasta que el forraje alcanza una humedad del 40-50%. A partir de allí la respiración cae abruptamente hasta hacerse insignificante cuando la humedad baja hasta el 25-30%. El proceso de respiración implica oxidación completa de hidratos de carbono solubles (principalmente glucosa y fructosa), con eliminación de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y energía. Esto resalta una vez más la importancia de lograr un secado rápido y parejo de la andana para minimizar la respiración. La magnitud de estas pérdidas de MS puede variar entre el 3% bajo buenas condiciones atmosféricas y el 20% bajo condiciones de alta humedad o lluvias que alargan la etapa de secado. Por otro lado, este tipo de pérdidas tiene el agravante de que los carbohidratos respirados son los de mayor calidad, es decir, los más fácilmente digeribles por el animal (76, 92).

*Pérdidas por lixiviación o lavado de nutrientes:* la alfalfa es un cultivo particularmente susceptible al lavado de nutrientes hidrosolubles por acción de las lluvias durante la etapa de secado. Esto tiene un efecto directo sobre el rendimiento de heno y, principalmente, sobre su calidad, ya que los componentes lixiviados son, en su mayoría, carbohidratos no estructurales (60%) y proteínas solubles (30%), todos ellos de alta digestibilidad (17, 23). El forraje en estados avanzados de desecación absorbe mayor cantidad de agua que el forraje recién cortado y pierde esa humedad absorbida con mayor facilidad que éste; por ello, las pérdidas por lixiviación de nutrientes son mayores cuando llueve sobre una andana casi seca que sobre una andana fresca (73, 75).

*Pérdidas mecánicas:* están ligadas principalmente a la caída de hojas como consecuencia de la acción de vientos y/o lluvias fuertes y de la acción de la maquinaria utilizada para uniformar y/o acelerar el secado, juntar las andanas, etcétera.

### **Técnicas para acelerar el secado**

Existen distintas técnicas que pueden emplearse para acelerar la etapa de secado del forraje a campo. Entre ellas se pueden mencionar:

*Acondicionado mecánico:* acelera el deshidratado al hacer pasar el forraje recién cortado entre dos rodillos que rotan en dirección opuesta y a una velocidad mayor que la de avance. Estos rodillos causan fricción, aplastamiento y quebradura de tallos a intervalos regulares. La fricción reduce, por abrasión, la cutícula serosa que dificulta la difusión de agua, especialmente desde los tallos. Existen rodillos de superficie lisa, estriada, acanalada y romboidal; pueden ser de caucho, metal o plástico, y su separación y velocidad de rotación puede ser ajustable. En la actualidad, la mayoría de los acondicionadores mecánicos van incorporados a la máquina de corte, sea ésta de movimiento alternativo o rotativo. Numerosos trabajos han demostrado la posibilidad de reducir entre 30 y 50% el tiempo de secado de la alfalfa utilizando acondicionadores mecánicos, aunque su uso, aún en las mejores condiciones, provoca pérdidas de MS del 1 al 5% (77, 81). En alfalfa, estas pérdidas son mayores a medida que el forraje es cortado a estados que van desde el vegetativo tardío hasta la floración, posiblemente por el menor contenido de humedad y/o la mayor debilidad con que las hojas se unen al tallo en estados de madurez avanzados (81).

*Acondicionado químico:* el objetivo de este método es remover o alterar la cutícula serosa. Consiste en pulverizar el forraje, en el momento del corte, con sustancias desecantes como carbonato de potasio ( $\text{CO}_3 \text{K}_2$ ) y carbonato de sodio ( $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ ), que tienen un efecto solubilizador de la cutícula (52). La efectividad de este método depende en gran medida de que la humedad relativa sea lo suficientemente baja como para permitir la rápida evaporación del agua de los tejidos tratados (35). En algunos estudios se mencionan incrementos de hasta 40% en la tasa de secado de alfalfa, pero en otros no se obtuvieron ventajas significativas. En general, la combinación de los métodos de acondicionamiento mecánico y químico es más efectiva que cualquiera de los dos por separado. En la Argentina, por el momento, es prácticamente nulo el uso de acondicionadores químicos o desecantes.

*Uso de rastrillos:* estos implementos, que pueden ser de tipo estelar, de cabezales rectos u oblicuos, o de peines giratorios, tienen dos usos principales: 1) andanado del forraje y 2) volteo y agrupamiento de andanas formadas. En el primer caso, la alfalfa es cortada y dejada sobre el suelo sin hilerar hasta que la humedad baja al 50-60%; luego se usa el rastrillo para formar las andanas donde se completará el secado. En el segundo caso, el rastrillo permite invertir la andana cuando la parte superior está parcialmente seca, exponiendo al sol y al aire la parte inferior. La magnitud de las pérdidas por desprendimiento de hojas en alfalfa aumenta a medida que disminuye la humedad del forraje en el momento de rastrillar (73), considerándose una operación riesgosa cuando ésta ha descendido en promedio por debajo del 40%.

### **3) Recolección y compactación**

Una vez finalizada la etapa de secado a campo, el heno de alfalfa está listo para ser recolectado y compactado. Entre los factores que más influyen en esta etapa sobre la calidad final del producto se encuentran:



## Humedad del forraje

El contenido de agua en el forraje ya henificado es muy importante, ya que determina en gran medida las condiciones en las que tendrá lugar su almacenamiento posterior. Existen varios métodos subjetivos para estimar la humedad del heno, como por ejemplo determinar que una andana de alfalfa está lista para enfardar si al retorcer un manojo éste se corta fácilmente, pero sin deshojarse; o cuando ya no es posible pelar la cutícula de los tallos con la uña. No obstante, la forma más confiable es utilizando humidímetros que trabajan por conductividad eléctrica. Estos permiten medir la humedad directamente sobre una muestra tomada en la andana o en el interior de un rollo o fardo confeccionado para prueba (8). Si el forraje no fue secado adecuadamente y es enfardado con un contenido de humedad superior al nivel crítico de 18-20%, se produce un deterioro en la calidad del heno (67). Según Macdonald y Clark (51), en un heno de alfalfa almacenado con 20% de humedad, las pérdidas por respiración no deberían superar el 5% de la MS, mientras que con 25% de humedad esas pérdidas podrían llegar al 10%, y con 35-40% de humedad llegarían a 15-20%. Lechtemberg y Holt (48) estimaron las pérdidas de MS en 1% por cada punto porcentual de humedad en el heno por encima de un umbral crítico de 18%. El excesivo contenido de humedad favorece la respiración celular y el desarrollo de hongos (por ejemplo *Aspergillus glaucus*), que consumen los carbohidratos de alta calidad del forraje y generan calor a través de su respiración. Además, el desarrollo de hongos actinomicetes termofílicos (como *Micropolyspora faeni* y *Thermoactinomyces vulgaris*), responsables de enfermedades respiratorias, constituyen un riesgo para la salud humana y animal. Las temperaturas elevadas que se alcanzan en un heno húmedo pueden disminuir la digestibilidad de la proteína al producirse la *Reacción de Maillard*, que por un proceso de polimerización genera un fuerte ligamiento entre los aminoácidos, azúcares y otros carbohidratos. La formación de proteína indigestible es proporcional al número de °C días<sup>-1</sup> que el heno está por encima de 35 °C. En el caso de heno enfardado con elevada humedad (más de 30%), la temperatura generada por el desarrollo de hongos puede alcanzar hasta 70°C, pudiendo llegarse hasta la combustión espontánea del fardo o rollo (66).

## Uso de aditivos conservantes

La utilización de preservantes o conservantes químicos permite recolectar el forraje con alta humedad (20-30%), a efectos de disminuir la pérdida de hojas o evitar el efecto negativo de las lluvias, sin sufrir las consecuencias indeseables propias de henos húmedos. Esos productos -como ácido propiónico, ácido propiónico + ácido acético (en dosis de 1% de la MS), propionato de amonio, urea (en dosis de 5-7% de la MS) o anhídrido de amonio (en dosis de 1-2% de la MS)- se aplican sobre el forraje en el momento de la recolección y tienen el efecto de prevenir el crecimiento fúngico (33, 52). Su uso no se ha difundido aún en la Argentina, principalmente por su alto costo y por su doble efecto de corrosión sobre la maquinaria y toxicidad sobre las personas (al menos de algunos de ellos). Otros conservantes, menos tóxicos pero no siempre efectivos, son las sales ácidas (como diacetato de sodio y propionato de sodio, en dosis de 0,2-0,7% de la MS) y los inoculantes sobre la base de bacterias anaeróbicas productoras de ácido láctico y ácido propiónico (33).

## Condiciones ambientales

Las variables que más influyen al momento de enfardar alfalfa son la humedad relativa y la radiación solar, ya que afectan el grado de humedad de la andana y la pérdida de hojas. En general, se recomienda enfardar o arrollar durante la noche si no hay rocío, o durante el día a partir de que éste se disipa, teniendo la precaución de no hacerlo durante las horas del mediodía y las primeras horas de la tarde si el ambiente está caluroso y seco.



## Máquinas recolectoras-compactadoras

Desde hace alrededor de 40 años y hasta mediados de la década del '80, la maquinaria más común para recolectar y compactar heno de alfalfa en Argentina era la enfardadora que produce fardos prismáticos de aproximadamente 45 x 55 x 100 cm de lado, con un peso de 25 a 30 kg por unidad, y atados con alambre o hilo plástico (9, 8). La mayor desventaja de este sistema es la alta demanda de mano de obra requerida para juntar y almacenar los fardos en forma manual. Si bien los fardos aún son preferidos para la producción de heno de alta calidad para fines específicos -caballos de carrera, cabañas, transporte a grandes distancias, etc.- en los últimos años su uso ha decrecido notablemente. En los últimos 20 años la difusión de las rotoenfardadoras o arrolladoras ha sido muy amplia, siendo su principal ventaja la alta capacidad de trabajo y el alto grado de mecanización del proceso, con la consiguiente baja demanda de mano de obra (Figura 5). Según los modelos, las arrolladoras pueden producir rollos de alfalfa de 400 a 800 kg de 1,20 o 1,50 m de diámetro y de hasta 1,80 m de altura, y atados con hilo plástico o red. Existen dos tipos de rollos: de núcleo flojo y de núcleo compacto.

Otro sistema de compactación de heno es el de fardos prismáticos gigantes que, si bien es muy común en EE.UU., no ha tenido prácticamente desarrollo en nuestro país debido a la alta inversión inicial necesaria. Consiste en la compactación del forraje seco en fardos de dimensiones medianas (por ejemplo: 0,80 m de ancho x 0,50 m de alto x 2,00 m de largo, con un peso aproximado de 200 Kg) o grandes (por ejemplo: 1,20 m de ancho x 1,30 m de alto x 2,75 m de largo, con un peso aproximado de 1.000 Kg). Entre las ventajas de este sistema, en comparación con el rotoenfardado, se mencionan su mayor capacidad de trabajo, la menor pérdida de hojas en cámara, la mayor presión de compactado (y en consecuencia, la mayor densidad del fardo), la mayor eficiencia de transporte y almacenamiento, y la posibilidad de dividirlo en 'panes' para su suministro.



FIGURA 5 – Rotoenfardadora de alfalfa que produce rollos de núcleo compacto.

Las pérdidas de materia seca y de calidad de heno de alfalfa debidas a la recolección y enfardado son de variada magnitud y se deben principalmente a la pérdida de hojas y a una compactación deficiente. El deshojamiento se produce durante la recolección de las andanas y durante el compactado en la cámara. Por el contrario, el grado de compactación del heno no tiene un efecto inmediato sobre la calidad del fardo o rollo, sino que influye sobre su hermeticidad a las lluvias durante la etapa de almacenamiento. Experiencias realizadas por Kjelgaard (45) demostraron que las pérdidas de materia seca durante el arrollado de alfalfa ascendían en promedio al 10%, mientras que Whitney (91) estimó las pérdidas por recolección con máquina de fardos prismáticos en 3,8%. Otros estudios (46) indican que las pérdidas de hoja en la cámara de compactación son 40% mayores en arrolladoras que en enfardadoras tradicionales.

Otra forma de compactar forraje seco de alfalfa es la producción de pequeños cubos (3-4 cm de lado) o pellets cilíndricos (1,5-2 cm de diámetro x 3-5 cm de largo) de alta densidad. La materia prima es la alfalfa deshidratada, sea secada a campo (henificación) o en forma artificial. Esta técnica de conservación utiliza máquinas compactadoras, tanto móviles (que trabajan a campo) como estacionarias (en galpón), que muelen el heno a un tamaño de partícula de 2-3 mm, lo humectan y lo comprimen en cubos que luego son llevados a un contenido de humedad no mayor del 14% (62). La densidad de un cubo o pellet es el doble o más de la de un fardo convencional (400 vs. 200 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente), lo que facilita y abarata su transporte, almacenamiento y suministro. Debido a su alta demanda energética, este sistema representa sólo una pequeña parte de la alfalfa conservada en la Argentina y se destina a la formulación de alimentos especiales para conejos, chinchillas, equinos y porcinos, y sólo eventualmente para vacas lecheras.

#### **4) Transporte y almacenamiento**

El heno de alfalfa es un producto perecedero, y como tal su manejo durante el transporte y almacenamiento influirá en la calidad final del forraje suministrado al ganado. En la Argentina los fardos prismáticos son recolectados del campo en forma manual, ya que no existe una mecanización de esta tarea como es común en otros países. Una alta proporción de los fardos prismáticos son almacenados bajo techo, en estructuras permanentes o temporarias, lo que garantiza mínimas pérdidas de calidad.

Por el contrario, en el caso de los rollos y los fardos gigantes el traslado es mecanizado y demanda escasa mano de obra, ya que pueden ser cargados y transportados por un solo operario con un tractor (62, 8). Casi la totalidad de los rollos de alfalfa producidos en el país son almacenados a la intemperie, lo que los hace susceptibles a pérdidas de materia seca y de valor nutritivo por efecto de los factores ambientales. El almacenamiento en lugares altos, sobre postes o grava, bajo cubierta plástica y en estibas separadas entre sí y ubicadas a favor de los vientos predominantes, ayudan a minimizar estas pérdidas (8). Algunas arrolladoras poseen accesorios que permiten cubrir el rollo con dos o tres capas de film plástico, o directamente atarlo con una red o malla de nylon, lo que mejora su impermeabilidad a las lluvias (9). Bruno y col. (10), analizando en el área de Rafaela (Santa Fe) rollos almacenados sin tapar durante nueve meses, determinaron pérdidas del 14% de MS; en cambio, cuando los rollos fueron tapados con una cubierta plástica, las pérdidas disminuyeron a sólo el 4,5% de MS. Para la misma zona, Romero y col. (70) estimaron pérdidas de MS en rollos tapados y sin tapar del orden de 5,5 y 8,6%, respectivamente. Romero y col. (69) también encontraron que la capa periférica de rollos tapados durante 6 meses, en los que recibieron 605 mm de lluvia, presentaba una mayor DMS (69%) que la de los rollos sin tapar (59%), aunque la DMS del núcleo fue similar en ambos casos (67%). En un trabajo similar (70) se señala que en los rollos sin tapar la DMS del núcleo (59%) fue mayor que la de la periferia (55%), que la de la capa enmohecida (49%) y que la de la capa en contacto con el suelo (50%). Es importante tener en cuenta las pérdidas en la capa exterior de los rollos ya que ésta representa una alta proporción del peso total. Por ejemplo, en un rollo de 1,80 m de diámetro los primeros 15 cm de la periferia equivalen al 30% del volumen total y los primeros 30 cm al 55% (67).

### **Conservación en húmedo: silaje y henolaje**

El ensilaje es una técnica de conservación de forrajes por la vía húmeda, basada en el desarrollo de un proceso fermentativo provocado por la actividad de microorganismos en ausencia de aire (condiciones de anaerobiosis) y que tiene por finalidad limitar las pérdidas

del valor nutritivo y evitar la formación de sustancias tóxicas para los animales. La conservación de alfalfa como silaje y henolaje tiene en nuestro país una difusión considerablemente menor a la conservación como heno (31). En la década del '60 el silaje de alfalfa tuvo una cierta difusión en la Región Pampeana entre productores de avanzada, pero más tarde su uso decayó. En los últimos diez años se ha renovado el interés en esta técnica y se han llevado a cabo también numerosos trabajos de experimentación, impulsados por la aparición de nueva maquinaria, productos químicos y variedades forrajeras.

Se denomina *silaje de alta humedad* o *silaje de corte directo* cuando el forraje es almacenado con más del 70% de humedad; y se denomina *henolaje*, *silaje premarchitado* o *silaje preoreado* cuando el forraje es almacenado con un rango de humedad del 40 al 60%. En cualesquiera de los casos anteriores, la alfalfa ensilada sufre un proceso fermentativo (ambiente anaeróbico) a bajo pH. Entre las principales ventajas de este tipo de conservación se incluyen la escasa pérdida de hojas desde el corte hasta el ensilado, la baja pérdida de nutrientes por respiración, la corta exposición a factores climáticos adversos luego del corte, el alto grado de mecanización del proceso y la posibilidad de conservarlo por períodos prolongados con pérdidas mínimas de calidad (89). Sin embargo, la alfalfa no es un cultivo ideal para el ensilado debido a que posee un bajo tenor de carbohidratos solubles (precursores de los ácidos orgánicos) y una alta concentración de proteínas y cationes (que actúan como atenuadores de los cambios de pH). Las pérdidas totales de materia seca y nutrientes durante el proceso de ensilado de la alfalfa pueden variar desde valores mínimos de 3 a 6% bajo condiciones adecuadas hasta el 70% o más cuando el forraje ensilado sufre serias alteraciones (20).

No obstante las limitaciones descriptas, el empleo de una serie de técnicas de manejo y de productos específicos, que serán detallados posteriormente, permiten conservar forraje de alfalfa en húmedo con muy buenos resultados en cuanto a la preservación de su valor nutritivo.

### ***Principales transformaciones bioquímicas durante el ensilado***

En el forraje verde cortado, picado y posteriormente ensilado, se produce una serie de transformaciones bioquímicas que dependen de factores externos e internos de la planta, y cuya acción conjugada orienta el desarrollo de la flora bacteriana y la evolución de la fermentación. Esta transformación del forraje fresco, que se efectúa en varias fases, finaliza con la obtención de un producto denominado **silaje**. Las características fermentativas del silaje le confieren la posibilidad de ser conservado a través del tiempo con mínimas pérdidas (59, 78). En la Figura 6 se esquematizan los principales procesos que tienen lugar durante el ensilado. Muy sintéticamente, esas fases pueden describirse como sigue:

**Acción de las enzimas de la planta:** como consecuencia de que el forraje ensilado continúa respirando; en la masa ensilada se realizan intercambios gaseosos. Este fenómeno se produce mientras existan azúcares o glúcidos solubles y presencia de oxígeno.

**Hidrólisis de glúcidos:** los glúcidos solubles de la planta son transformados rápidamente por las enzimas en glucosa y fructosa, que constituyen el principal sustrato de los microorganismos presentes en la superficie de la planta. Existen otros glúcidos, como el almidón, que no pueden ser utilizados directamente por los microorganismos porque es improbable que existan enzimas que lo degraden; de todos modos, el contenido de almidón en alfalfa es poco importante.

**Respiración:** los glúcidos solubles son inmediatamente atacados, debido a que, mientras exista oxígeno en la masa ensilada, forman parte del sustrato que posibilita los intercambios gaseosos. La respiración provoca liberación de gas carbónico, que poco a poco va reemplazando al oxígeno en el silo; además, hay producción de calor y agua. Según Devuyst y Van

FASES	TRANSFORMACIONES BIOQUÍMICAS
ENZIMÁTICA	Hidrólisis de glúcidos Azúcares → glucosa - fructosa
	Respiración Glucosa - fructosa + O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O + n calorías
	Proteólisis Proteínas → aminoácidos
	<b>Comienzo de la acidificación</b> (acción de bacterias coliformes o enterobacterias)
	Azúcares → Ácido acético + alcohol + CO <sub>2</sub> Aminoácidos → amoníaco + AGV (ácidos grasos volátiles)
FERMENTATIVA	<b>Acidificación del medio</b> (acción de bacterias lácticas) Azúcares → bacterias homofermentativas → ácido láctico Azúcares → bacterias heterofermentativas → ácido láctico + ácido acético + alcohol
	<b>Desvíos fermentativos</b> (acción de bacterias butíricas) Azúcares residuales y ácido láctico → CO <sub>2</sub> + ácido butírico + AGV Aminoácidos → AGV + NH <sub>3</sub> Aminoácidos → Aminas
	<b>Desarrollo de mohos</b> Azúcares + O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O + calorías Ácidos orgánicos + O <sub>2</sub> → Enmohecimiento
POST FERMENTATIVA	<b>Desarrollo de levaduras</b> Azúcares → Alcohol + CO <sub>2</sub> Ácido láctico + O <sub>2</sub> → Ácido acético + CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O

FIGURA 6 – Síntesis esquematizada de las principales transformaciones bioquímicas que ocurren durante las fases del desarrollo de la fermentación en el ensilado de alfalfa.

Belle (19), al cabo de 5 a 6 h un silo puede estar totalmente privado de oxígeno, siempre que haya sido sellado con rapidez. Si el sellado ocurre a las 48 h de haber terminado el silo, el proceso respiratorio continúa por 72 horas.

**Proteólisis:** si durante el inicio de la fermentación no se alcanza con inmediatez un valor de pH lo suficientemente bajo, se puede producir la degradación de las proteínas, con formación de amoníaco y aminas. La degradación proteica en silajes varía según la especie forrajera, el estado fenológico, la composición química, el contenido de materia seca y el

tratamiento previo que se haya dado al forraje (14, 58). McDonald y col. (57) señalan que uno de los procesos más importantes que ocurren durante el ensilado es la degradación enzimática de la proteína (proteólisis) a nitrógeno no proteico soluble (NNPS): péptidos, aminoácidos libres, nitrógeno amoniacal, etc. Estos procesos ocurren durante los primeros 3 a 7 días de la fermentación, y pueden dar como resultado que -si las condiciones de acidez favorecen la actividad de las proteasas vegetales y la solubilidad de las proteínas- el 85% de la PB de los silajes de alfalfa se encuentre en forma de NNPS.

**Acción de los microorganismos:** luego de la actividad enzimática se produce el rápido desarrollo de la microflora presente en el forraje al momento de la cosecha que se alimenta de los jugos celulares liberados por la planta. Esta flora bacteriana comprende varios géneros y especies, que se caracterizan por su reacción frente a determinadas condiciones ambientales. Al comienzo de la fermentación se desarrollan bacterias aeróbicas estrictas, que no tienen interés para el ensilaje y que desaparecen rápidamente cuando el medio se empobrece de oxígeno. Luego, a medida que se acentúa la anaerobiosis, comienzan a multiplicarse las bacterias anaeróbicas. Entre estas últimas, las primeras en desarrollarse son las *bacterias coliformes* (o *enterobacterias*), organismos anaeróbicos facultativos que provocan un comienzo de acidificación del medio, produciendo esencialmente ácido acético, anhídrido carbónico y alcohol. Este grupo deja de actuar cuando el pH llega a valores inferiores a 4,5. Seguidamente, intervienen las *bacterias lácticas* (BAL), que al comienzo son poco abundantes pero que luego se desarrollan rápidamente no sólo porque su resistencia a la acidez es muy grande, sino también porque la acidez que provocan impide el desarrollo de otros microorganismos indeseables. Existen importantes diferencias entre las especies bacterianas que intervienen en la fermentación láctica, tanto entre las homofermentativas como en las heterofermentativas. Otras bacterias que participan, con mayor o menor eficacia, en la fermentación láctica son: *Pedococcus* spp., *Streptococcus* spp. y *Leuconostoc* spp. También puede ocurrir que se desarrolle otro tipo de microorganismos indeseables durante el ensilaje, que utilizan elementos nutritivos de alta calidad como azúcares solubles, ácido láctico, proteínas y compuestos nitrogenados más simples. Estos microorganismos se denominan colectivamente como *bacterias butíricas* (anaeróbicas esporuladas) y pueden producir ácidos grasos volátiles (propiónico, butírico, etc.), amoníaco y anhídrido carbónico.

**Actividad posfermentativa:** en principio, en ausencia de oxígeno y a un pH igual o inferior a 4,0 (dependiendo del contenido en materia seca), el silaje correctamente fermentado se estabiliza. Sin embargo, en caso de que se introduzca aire en la masa ensilada -tanto por pérdida de hermeticidad del silo como en el momento de la distribución en los comederos- existe el riesgo de actividades posfermentativas. Estos riesgos son aún mayores cuando existen cantidades importantes de azúcares en el forraje. Los agentes causantes de estas degradaciones son mohos y levaduras, que pueden actuar aun en ambientes muy ácidos. Los mohos son aeróbicos estrictos y sus esporas existen en grandes cantidades en el forraje; las levaduras, en cambio, pueden desarrollarse con o sin la presencia de aire.

## **Factores que afectan el desarrollo de la fermentación**

### **Factores propios de la planta**

**Estado de madurez y genotipo:** en la producción de silaje estos factores ejercen un efecto idéntico al descrito anteriormente para la producción de heno.

**Concentración de carbohidratos solubles no estructurales (CHNE):** la formación de ácido láctico, necesario para la obtención de un pH bajo, exige la presencia de azúcares en el forraje verde. El contenido en este tipo de carbohidratos dependerá de la especie forrajera



dominante en la pastura (las gramíneas son más ricas que las leguminosas), de la fertilización con nitrógeno, etc. Según Carpintero y col. (15), para lograr un silaje de alfalfa de alta calidad fermentativa, la concentración en CHNE que compense la elevada capacidad buffer de la alfalfa debe llegar ser de 12,6 a 16,1 %. En el Cuadro 6 se muestran los valores de CHNE de diversas forrajeras en comparación con alfalfa.

**Capacidad buffer o tampón:** es la capacidad de la planta para resistir a los cambios o variaciones de pH, y en particular a la acidificación. Este factor depende de la forrajera utilizada, de la concentración de compuestos nitrogenados, del contenido de ácidos orgánicos y sales minerales, del estado fenológico, de la naturaleza e importancia de los productos resultantes de la degradación durante la fermentación, etc. (26). McDonald y col. (57) señalaron que la capacidad buffer de la alfalfa es alta, con valores que van de 39 a 57 mE 100 g MS<sup>-1</sup>.

**Contenido en materia seca:** el agua representa el componente mayoritario de la planta de alfalfa, con valores de entre 70 y 85% del material apto para ensilar. Además de ser parte esencial de los jugos celulares, el agua es el vehículo de los componentes nutritivos, cuya concentración determina la presión osmótica en la célula. Los microorganismos que actúan durante el ensilado tienen distintas sensibilidades a esta última, a punto tal que -en la práctica- su elevación favorece la presencia de bacterias lácticas y desalienta la de las de tipo butírico. En consecuencia, este efecto beneficioso se puede conseguir con la disminución de la cantidad de agua contenida en el forraje a través del preoreo o premarchitado. En alfalfa, las pérdidas de MS son más severas en el caso de silajes que en el de henolajes. Rotz y col. (74), utilizando el modelo de simulación DAFOSYM creado por Buckmaster y col. (12), estimaron que las pérdidas de MS de alfalfa son menores en silo de forraje premarchitado que en silo de forraje proveniente de corte directo (Cuadro 7).

En síntesis, la estabilidad de un silaje con un forraje preoreado puede ser mayor aún a valores de pH superiores a los necesarios para estabilizar un ensilaje de alfalfa de corte directo. Sin embargo, en prácticamente todas las forrajeras, para que el preoreo tenga un efecto significativo es necesario alcanzar al menos el 30 % de MS (Cuadro 8). A las pérdidas fermentativas deben sumarse las pérdidas de nutrientes solubles (azúcares, productos fermentativos, proteínas solubles, nitrógeno no proteico y minerales) que se originan por el drenaje de líquido o efluentes producidos como consecuencia de roturas celulares. Las pérdidas por efluentes son directamente proporcionales al tenor de humedad del forraje al ensilar, aunque también dependen del tipo de silo utilizado (82).

**Aptitud de algunas forrajeras para el proceso de ensilado:** esta característica es el resultado de las propiedades químicas propias de cada especie forrajera. Si bien el contenido en materia seca es un factor importante, su modificación a través del preoreo puede influir radicalmente en la fermentación láctica. Sin embargo, para los silajes de corte directo, la concentración de carbohidratos no estructurales y la capacidad buffer o tampón condicionan la aptitud de las plantas para al ensilado.

De acuerdo con los resultados obtenidos por Viviani Rossi y col. (88), la alfalfa presenta una alta probabilidad de obtener un pH inestable en la masa ensilada, lo que provocará el desarrollo de fermentaciones indeseables. Por el contrario, el maíz -por sus características químicas de alto contenido en azúcares solubles y baja capacidad buffer o tampón- asegura un buen proceso de ensilado. Utilizando como criterio de evaluación de la calidad fermentativa y estabilidad de la masa ensilada la relación MS:pH (Cuadro 9), se infiere que en el silaje de alfalfa -a diferencia de lo que ocurre en el maíz- de corte directo se produce una intensa degradación proteolítica.



## Factores externos a la planta

**Malezas, plagas, enfermedades y altura de corte:** su efecto en la producción de silaje, al igual que el de la maquinaria de corte e hilerado, es similar al descrito para la producción de heno.

**Tamaño de picado:** es bien conocido el efecto del tamaño de partícula sobre el desarrollo de la fermentación. El picado fino, de 15 a 25 mm, favorece la dispersión de los jugos celulares, y por lo tanto, de azúcares solubles, en la masa de forraje; a su vez, favorece también la eliminación del aire a través de una mejor compactación en comparación con forraje sin picar o picado grueso. Esa rápida liberación de azúcares solubles, al servir de sustrato a las bacterias lácticas, también favorece el descenso del pH y la consiguiente aceleración en el comienzo de la fermentación láctica.

**Eliminación del oxígeno contenido en la masa del forraje:** la adecuada compactación del material ensilado y la rápida eliminación del oxígeno presente, crean las necesarias condiciones de anaerobiosis para el rápido comienzo de la fermentación.

La creación de un ambiente sin oxígeno es esencial para detener la respiración del material vegetal, prevenir el desarrollo de bacterias aeróbicas y estimular el desarrollo de bacterias anaeróbicas deseables. Para ello es necesario controlar el tamaño de picado, poseer una buena organización operativa para trabajar rápida y coordinadamente, lograr la suficiente compactación acorde al tipo de silo, y asegurar la hermeticidad y la duración del sellado posterior.

**CUADRO 6** – Contenido de carbohidratos no estructurales solubles (CHNE) en algunas especies forrajeras utilizadas para la producción de silajes y henolajes empaquetados.

Especie Forrajera	Estado fenológico	CHNE (% MS)	Observaciones
Raigrás anual	Elongación	28	Sin fertilización
Raigrás anual	Elongación	15	Fertilizado (150 Kg de N ha <sup>-1</sup> )
Festuca alta	Principio de panojamiento	10	
Maíz	Grano lechoso a pastoso	30	
Pasto ovilleo	Espigazón	8	
Trébol rojo	Botón floral	10	
Alfalfa	Principio de floración	8	

**Contaminación con tierra:** la introducción accidental de tierra junto con el material a ensilar es una fuente probable de desarrollo de microorganismos *clostridiales*, cuyas esporas -en condiciones adecuadas de acidez, humedad y temperatura- germinan y degradan el ácido láctico, los azúcares residuales y los compuestos nitrogenados.

**CUADRO 7** - Valores simulados de pérdidas promedio de materia seca (MS) durante almacenamiento de silaje de alfalfa premarchitada (65% de humedad) y de corte directo (más de 75% de humedad). Adaptado de Rotz y col. (74).

Tipo de pérdida	Pérdida de MS (%)	
	Premarchitado	Corte directo
Efluentes	0,0	4,7
Respiración aeróbica en llenado	0,8	1,3
Fermentación	0,7	1,5
Respiración aeróbica en almacenamiento	5,0	4,7
Respiración aeróbica en vaciado	5,2	3,8
Total	12,1	17,7

**Uso de aditivos correctores para silajes y henolajes:** la utilización de correctores en los silajes y henolajes no es una práctica tecnológica generalizada en la Argentina, aunque sí en países con mucha tradición en la confección de forrajes conservados de alta calidad. Originalmente, el objetivo de estos productos fue asegurar durante el ensilaje el dominio

**CUADRO 8** – Variación del pH de estabilidad en función del tenor de materia seca (MS) del forraje de alfalfa ensilado.

% MS del forraje	pH de estabilidad
15– 20	4,0
20– 25	4,0– 4,2
25– 30	4,2– 4,4
30– 35	4,4– 4,6
35– 40	4,6– 4,8

de las bacterias productoras de ácido láctico (BAL), asegurando una buena preservación del proceso fermentativo. La melaza, que estuvo disponible comercialmente a principios del siglo XX, se utiliza como fuente de carbohidratos rápidamente fermentecibles. Con posterioridad, en 1933 Virtanen (86) adoptó un enfoque diferente y recomendó el uso de ácidos minerales para lograr la rápida acidificación del medio (pH 3,5-4,0) y prevenir la actividad bacteriana y enzimática indeseable. Hoy en día, el desarrollo de aditivos para silaje pone su énfasis en el control de la fermentación, mejorando el valor nutritivo y reduciendo las pérdidas de materia seca; sin embargo, es importante decir que la decisión sobre el uso de aditivos debe estar basada no sólo en resultados comprobados científicamente, sino también en la evaluación económica de sus beneficios (47, 64).

Los aditivos correctores han sido clasificados en seis grandes grupos, cuyas características más salientes se resumen a continuación:

**Grupo 1:** Cultivos bacterianos o inoculantes biológicos. Un organismo, para ser utilizado en silajes como cultivo bacteriano, debe reunir una serie de condiciones: poseer un vigoroso crecimiento y una gran capacidad competitiva respecto de otros microorganismos; ser homofermentativo y capaz de una rápida producción de ácido láctico a partir de hexosas; ser ácido-tolerante; ser capaz de producir un pH final de menos 4,00; ser capaz de fermentar la glucosa, fructosa, sucrosa y fructosanos; no actuar sobre ácidos orgánicos; crecer con temperaturas de hasta 50°C y sobre materiales de baja humedad; y no poseer actividad proteolítica (21, 63, 64). Uno de los primeros inoculantes bacterianos comercialmente utilizado contenía (*Lactobacillus acidophilus*). Posteriormente se desarrollaron inoculantes a base de *Lactobacillus plantarum* y *Pedococcus pentosaceus*.

**Grupo 2:** Fuentes azucaradas. Algunos materiales ricos en carbohidratos se agregan al silaje con la finalidad de incrementar la disponibilidad de energía para el crecimiento de las BAL, siendo particularmente útiles en silajes de leguminosas como la alfalfa. Entre ellos pueden mencionarse los siguientes:

**Melaza:** este subproducto de la remolacha azucarera o de la caña de azúcar tiene un tenor de materia seca del orden del 70 al 75% y un contenido de CHNE de 65% de la MS. Su principal componente es la sucrosa.

**Enzimas que degradan la pared celular:** el uso de enzimas celulolíticas y hemicelulolíticas incrementa la proporción de azúcares fermentecibles en la masa del forraje ensilado.

**Cereales (maíz, cebada, avena, etc.):** los granos de cereales se utilizan con el doble propósito de mejorar el proceso fermentativo y la calidad nutritiva del silaje. Como el principal carbohidrato de los cereales es el almidón (polisacárido no disponible para las BAL), se sugiere que en el momento de agregar los granos se adicione una fuente de enzima amilasa (por ejemplo: malta).

**Grupo 3:** Biostáticos o inhibidores de desvíos fermentativos. Los más usados son:

**Ácidos minerales:** el agregado de ácidos minerales –como el fosfórico, sulfúrico, etc.- tie-

**CUADRO 9** – Perfiles fermentativos de los silajes de alfalfa y maíz de corte directo en función del tenor de materia seca (MS), la producción de nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) como porcentaje del nitrógeno total (% NT) y el valor de pH alcanzado en la masa ensilada

Tipo de Silaje	MS (%)	N-NH <sub>3</sub> (%NT)	pH
Alfalfa	26	33	5,3
Maíz	25	7	3,8

ne por objetivo hacer descender rápidamente el pH para preservar el silaje.

**Ácido fórmico:** la utilización de este ácido orgánico fuerte está ampliamente difundida en otros países desde hace muchos años (15). La dosis normal de aplicación es de 0,5%, pero puede variar en función de la forrajera a conservar. Su efecto es hacer descender rápidamente el pH a valores de aproximadamente 4,00. La acción bactericida del ácido fórmico inhibe el crecimiento de (*Clostridium*) spp, (*Bacillus*) spp y otros géneros del grupo Gram-negativos. Viviani Rossi y col. (87) indicaron que el uso del ácido fórmico (formulado al 85%) en dosis de 5 l tn de peso fresco<sup>-1</sup> provoca un descenso significativo del pH y una disminución del nitrógeno amoniacal, al inhibir el desarrollo de fermentaciones secundarias. Los resultados, que se resumen en el Cuadro 10, son consistentes con los informados por otros autores (27, 29). Se aprecia que los elevados valores de PB y de DIVMS y la baja concentración de FDN indican que la alfalfa no tiene limitantes nutritivas para rodeos de altos requerimientos; sin embargo, la baja concentración en CHNE, asociada a su elevada capacidad buffer, hacen suponer que existirían limitantes para su ensilado inmediatamente después del corte. A conclusiones similares llegaron Gutiérrez y col. (28) trabajando en nuestro país con silajes de gramíneas templadas fertilizadas.

**Ácido acético:** su utilización como aditivo ha sido desalentada debido a que su presencia en altas concentraciones se asocia con un pobre rendimiento productivo.

**Formaldeído:** a pesar de que su efecto bacteriostático es conocido, su empleo es desaconsejable por su efecto perjudicial para la salud humana.

**Grupo 4:** Inhibidores del deterioro aeróbico. Los mayores responsables del deterioro aeróbico de los silajes son los mohos, las levaduras y las bacterias aeróbicas. Para su control se pueden utilizar:

**Ácido propiónico:** tradicionalmente ha sido muy utilizado como inhibidor microbiano en la preservación de granos almacenados. Su efecto es mayor cuando se usa en altas dosis y su efecto fungistático se incrementa cuando el pH disminuye.

**Ácido sórbico:** si bien algunos investigadores han destacado el potencial uso del ácido sórbico como un inhibidor del deterioro, se carece de información conclusiva sobre sus verdaderos efectos.

**Grupo 5:** Nutrientes. Son sustancias que, agregadas al material ensilado, contribuyen a satisfacer los requerimientos nutritivos de los animales. Algunos de los aditivos mencionados precedentemente -como las fuentes azucaradas y los cereales- cumplen con esta finalidad en los silajes de alfalfa.

**Grupo 6:** Absorbentes. El ensilado de forrajeras con alto contenido de agua incrementa notablemente la excesiva producción de efluentes. Aunque el agregado de productos absorbentes puede ayudar a solucionar este problema, su eficiencia de absorción dependerá de las características físicas del cultivo, del método de aplicación, del tipo de silo, etc. Algunos ejemplos de productos usados con este fin son:

**Pulpa de remolacha azucarera:** el efecto reductor sobre la producción de efluentes y la mejora en el proceso fermentativo de este aditivo ha sido señalada por varios autores

**Paja:** si bien su empleo está aceptado para reducir la producción de efluentes, se señalan una serie de efectos negativos sobre la fermentación y la calidad nutritiva del silaje.

**Bentonita:** aunque algunos trabajos experimentales han destacado su efectividad como absorbente, también se ha indicado su posible efecto en la reducción del valor nutritivo del silaje.

## **Sistemas de confección de silajes y henolajes de alfalfa**

Básicamente, existen dos grandes sistemas de conservación de alfalfa húmeda: forraje

picado y forraje sin picar. A continuación se describirán algunas características generales de cada tipo.

### Forraje picado

Como se explicó anteriormente, no es recomendable realizar silaje de alfalfa de corte y picado directo porque el elevado contenido de humedad aumenta las pérdidas por efluentes y diluye la concentración de azúcares necesaria para una buena fermentación (9). La alternativa más práctica es cortar e hilar la pastura con la misma maquinaria e idénticas técnicas que las recomendadas para la henificación, permitiendo un preoreo o premarchitado del material en la andana hasta que su humedad se haya reducido a alrededor del 50-60%. El uso de acondicionadores mecánicos, tanto de rodillos como de mayales o dedos, ayuda a evaporar agua y alcanzar rápidamente ese nivel de humedad. El lapso de tiempo para lograr el preoreo deseado variará de acuerdo a las condiciones climáticas (humedad relativa, viento, temperatura, etc.), y a otros factores, como especie vegetal, estado fenológico, acondicionado mecánico previo del forraje, fertilización nitrogenada, etc. Al igual que para la henificación, deben destinarse a silaje cultivos limpios de malezas, de buena sanidad y volumen, y en el estado fenológico más adecuado para lograr un compromiso entre calidad y cantidad.

La tarea de recolección de la andana es realizada por la misma máquina picadora, sea ésta de arrastre o automotriz, pero equipada con un cabezal recolector de rodillos con peines o dientes metálicos para minimizar la pérdida de hojas. El picado es realizado por la acción de rotores de alta velocidad provistos de cuchillas móviles opuestos a contracuchillas fijas. El tamaño de picado recomendado para pasturas de alfalfa es de 15 a 25 mm, lo que favorece el compactado del silo y el posterior aprovechamiento animal.

### Existen dos tipos básicos de silo para forraje picado:

**Silo tradicional.** Según la modalidad de construcción, puede ser de tipo puente (aéreo), trinchera (subterráneo), torta (aéreo), etc. Lo fundamental es ubicarlo en una zona alta y, en lo posible, con alguna pendiente para favorecer el drenaje. Debe ser llenado y compactado en el menor tiempo posible para cortar la respiración celular y favorecer el inicio de la fermentación bacteriana. Una vez lleno y compactado, es recomendable tapar el silo con algún material plástico para asegurar su hermeticidad. Cuando el volumen a ensilar es inferior a 400-500 toneladas de materia verde, la mejor opción es no confeccionar silos tradicionales, por su elevado nivel de pérdidas; en ese caso, se recomienda utilizar el silo-bolsa.

CUADRO 10 – Valor nutritivo y perfil fermentativo del silaje de alfalfa.

SILO DE ALFALFA	VALOR NUTRITIVO					PERFIL FERMENTATIVO					
	DIVMS (%)	FDN (%)	NT (%)	PB (%)	CHNE (%)	MS (%)	N-NH3 (%NT)	pH	Ácido Acético (g kgMS <sup>1</sup> )	Ácido Propiónico (g kg MS <sup>1</sup> )	Ácido Butírico (g kg MS <sup>1</sup> )
Con ácido fórmico	69	34	2,9	18	4	27	4	4,5	12	0,4	0,4
Sin ácido fórmico	63	37	2,6	16	3	26	33	5,3	22	1,8	3,9

Referencias: DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca; FDN = fibra detergente neutro; NT = Nitrógeno total; PB = proteína bruta; CHNE = carbohidratos no estructurales soluble s; MS = materia seca; N -NH3 = Nitrógeno amoniacal.

**Silo-bolsa.** A mediados de la década del '90 hizo su aparición en nuestro país la práctica de ensilar el material picado en grandes bolsas de nylon, conocidas como «silobag». Estas bolsas -con diámetros de 1,40 a 3,0 metros, largos de 30 a 90 metros y espesores de pared de 250 a 500 micrones- permiten almacenar de 100 a 300 toneladas de forraje. El llenado y la compactación se realizan con máquinas especialmente diseñadas para tales fines. El sistema presenta varias ventajas en comparación con el silo tradicional: alta capacidad de trabajo (más de 45 tn hora<sup>-1</sup>), baja demanda de personal (la embolsadora no necesita atención permanente), posibilidad de detener temporalmente la tarea de ensilado para continuar más tarde sin afectar la fermentación, y factibilidad de abrir y cerrar la bolsa de silo las veces que sean necesarias para adecuarse a las necesidades de suministro manteniendo la calidad inicial.

### **Forraje sin picar: rollos húmedos empaquetados (silopaq)**

Una tecnología de poca incorporación en nuestro país -pero que es masivamente utilizada en Inglaterra, Francia, Alemania e Italia- es la del henolaje empaquetado o «silopaq». La información obtenida por medio de encuestas, análisis de laboratorio y constataciones *in situ* sobre el comportamiento de esta técnica en la Argentina ha sido muy variable. El principio básico es la confección de rollos de forraje con alta humedad (40-60%), que luego son envueltos individualmente en film plástico por máquinas empaquetadoras para permitir la fermentación anaeróbica. Entre las ventajas de este sistema se incluyen el uso más eficiente de la maquinaria para confección de rollos, la posibilidad de cortar y conservar superficies reducidas, y la mayor facilidad de suministro en comparación con el silaje picado.

Según la información generada en nuestro país, las pérdidas en cantidad y calidad de forraje serían menores que en el caso de los rollos de heno. Romero y Bruno (*INTA Rafaela, comunicación personal*), analizando la calidad de henolajes empaquetados de pasturas base alfalfa confeccionados en campos de productores en el área central de Santa Fe, observaron que los valores promedio de PB variaron entre 16 y 24%, los de FDN entre 44 y 60%, los de FDA entre 33 y 41% y los de DIVMS entre 60 y 65%. Las características fermentativas presentaron valores normales en la parte interior del rollo (pH entre 5,0 y 5,8 y proporción de amoníaco sobre nitrógeno total entre 9 y 14 %), mientras que en la capa exterior, en contacto con el plástico, dichos valores fueron superiores a lo normal. Si bien muchos factores que afectan el proceso de henificación actúan en forma similar sobre los procesos de ensilaje y henolaje, la producción de henolaje empaquetado de alfalfa requiere del conocimiento y del manejo correcto de ciertas técnicas específicas (68). En ese contexto, diversos factores deben ser tenidos en cuenta para lograr silopaqs de alta calidad:

#### **Procedimiento**

Una vez realizado el corte y el premarchitado a campo, y habiendo ya alcanzado el %MS deseado, se procede al enrollado del forraje tomando las siguientes precauciones para confeccionar los rollos: tamaño pequeño (0,90 a 1,10 m de diámetro), forma cilíndrica, buenas (firmes) ataduras y fundamentalmente muy buena compactación. Como en todo proceso fermentativo, el aire es un agente que provoca el deterioro de la masa ensilada y debe ser desalojado del rollo por la alta presión que ejerce la propia rotoenfardadora; posteriormente, una mesa empaquetadora toma el rollo y lo recubre en forma individual con la película (*film*) de polietileno, lográndose las condiciones de anaerobiosis adecuadas y esenciales para el desarrollo del proceso fermentativo. Además de las empaquetadoras individuales, existen máquinas que envuelven los rollos uno a continuación de otro, con sus caras planas en contacto, formando una estiba («*siloline*») que permite un ahorro de película del orden del 40%; no obstante, esta tecnología ha tenido escasa difusión en nuestro país.

#### **Características del film de polietileno**

La película o film de polietileno debe reunir ciertas condiciones: resistencia al «envejeci-



miento» provocado por los rayos UV, las oxidaciones y la temperatura ambiental; capacidad de estiramiento; adhesividad entre capas; «memoria», y resistencia mecánica a las perforaciones, los desgarros y los frotamientos. Además, Gaillard y Berner (24) señalaron que el film no sólo debe mantener sus propiedades sino también la hermeticidad durante el almacenamiento (estabilidad a largo plazo), que -según estos autores- puede llegar a los 6 meses e incluso a 1 año. Las bobinas de polietileno tienen usualmente 500 o 750 mm de ancho, 1.500 ó 1.800 m de largo, y un film de 25 micrones de espesor.

### ***Estiramiento del film:***

El estiramiento del film permite envolver integralmente al rollo sin que quede espacio entre el forraje y el film. El estiramiento convencional tiene lugar entre el rollo y la bobina de polietileno, aunque puede modificarse deteniendo la bobina con un freno axial o tangencial. El preestiramiento, que consiste en estirar el filme entre dos rodillos de goma paralelos antes de adherirlo al rollo, tiene como fin activar la memoria del mismo de manera que una vez adherido al material tienda a contraerse y de este modo elimine el aire superficial. En general, se aconseja un preestiramiento del 50 al 70%.

### ***Cobertura del rollo***

La tasa de recubrimiento determina el número de capas de polietileno que deben colocarse simultáneamente. Para obtener buena hermeticidad, la cobertura del film debe ser al menos del 50%.

### ***Rendimiento del empaquetado***

Dependerá del sistema que se haya elegido para trabajar en el campo. Si la empaquetadora se mantiene fija en el lugar de estiba y es abastecida con algún sistema de transporte, se pueden lograr rendimientos de 28 a 32 rollos hora<sup>-1</sup>. Por el contrario, si la empaquetadora sigue a la arrolladora, empaquetando y descargando sobre el lote, se conseguirán rendimientos de 15 a 18 rollos hora<sup>-1</sup>.

### ***Estiba o almacenamiento de los rollos empaquetados***

Es aconsejable estibar los rollos empaquetados en lugares altos, alejados de montes de árboles y con buen drenaje del agua de lluvia. La estiba debe aislarse en todo su perímetro para que los animales no puedan acceder y el lugar debe conservarse limpio, con la finalidad de evitar la presencia de roedores y peludos. Se recomienda la verificación periódica de los rollos para reparar con parches plásticos específicos las perforaciones que pudieren producirse.

### ***Forraje sin picar: rollos húmedos embolsados***

Es un sistema alternativo de conservación de henolaje que consiste en embolsar rollos confeccionados con alta humedad (similares a los utilizados para silopaq) pero en una bolsa de polietileno de alta densidad, que se va desplegando a medida que se va llenando. El espesor del polietileno es de 200-250 micrones y la bolsa tiene un diámetro (y por ende el rollo) de 1,20 a 1,50 m y un largo de 30 a 60 m. La capacidad de trabajo de estas embolsadoras oscila entre 40 y 100 rollos hora<sup>-1</sup>. Para crear las condiciones necesarias de anaerobiosis, el aire dentro de la bolsa se extrae por medio de bombas de vacío que se accionan una vez terminado el llenado, o a través del uso de bolsas elaboradas con plástico contraíble («streech»), o por una combinación de ambos.

## **Consideraciones finales**

En este capítulo se reseñaron diversos aspectos de importancia para la producción de forraje conservado de alfalfa de alta calidad en la Argentina. De los conceptos vertidos se desprende que existe un gran número de factores que afectan, en mayor o menor medida,



la calidad y la cantidad de la alfalfa conservada y que actúan desde antes del momento de corte hasta el momento del suministro a los animales. El éxito final dependerá del grado de conocimiento que el productor, el contratista y/o el profesional tengan sobre cómo, cuándo y en qué magnitud influye cada uno de estos factores. De esta manera, podrán utilizarse eficaz y eficientemente las técnicas de producción y manejo que mejor se adecuen en cada caso.

Respecto de posibles investigaciones futuras, se señalan la generación de información local sobre la utilización de nuevas técnicas de manejo, maquinaria, germoplasma y distintos productos que se desarrollen, evaluando su adaptación a las condiciones agroecológicas y a los sistemas de producción de nuestro país.

## Bibliografía

1. ARAGÓN, J. R y J. M. IMWINKELRIED. 1995. Plagas de la alfalfa. *In*: E. Hijano y A. Navarro (ed) La Alfalfa en la Argentina. INTA, Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, pp. 83-104.
2. BARNES, R. F and C. H. GORDON. 1972. Feeding Value and On-Farm Feeding. *In*: C. Hanson (ed.) Alfalfa Science and Technology. ASA, Agronomy 15, Madison, WI, USA, pp. 601-630.
3. BARRENECHEA, A. y L. POZZO. 1993. Reservas de Forraje: Alfalfa para Animales Lecheros. INTA EEA Manfredi. Proyecto MEPROLE, 7 p.
4. BASIGALUP, D. H. y E. H. HIJANO. 1995. Mejoramiento genético de la alfalfa. *In*: E. Hijano y A. Navarro (ed.) La Alfalfa en la Argentina. INTA, Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, pp. 39-60.
5. BERGER, M. E., R. J. LEÓN y H. F. FENOGLIO. 1986. Cambios en la digestibilidad *in vitro*, proteína bruta y materia seca de dos cultivares de alfalfa (*Medicago sativa*, L.) con el avance a madurez. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol. 6(7-8): 423-427.
6. BERGER, M. E., R. J. LEÓN y H. F. FENOGLIO. 1985. Cambios en la concentración de elementos minerales en alfalfa (*Medicago sativa*, L.) con el avance a madurez. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 5(3-4): 149-155.
7. BODEN, S. M. 1965. Técnica de la Henificación Acelerada. Ed. Acribia, Zaragoza, España, 135p.
8. BRAGACHINI, M. 1995. Heno de Calidad. Cuaderno Actualización N° 1, Proyecto PROPEFO, EEA Manfredi, INTA, 84 p.
9. BRAGACHINI, M., P. CATTANI y E. RAMÍREZ. 1995. Todo Forraje: Manual de maquinaria para la producción de forrajes conservado de alta calidad. Proyecto PROPEFO, EEA Manfredi, INTA, 189 p.
10. BRUNO, O. A., L. A. ROMERO y M. C. GAGGIOTTI. 1991. Influencia del período de almacenamiento sobre la calidad de los henos. *Jorn. Inf. Téc. para Prod.*, EEA Rafaela, INTA, pp. 53-54.
11. BRUNO, O. A., L. A. ROMERO, M. C. GAGGIOTTI and O. R. QUAINO. 1993. Chemical composition of two lucerne cultivars. XVII Int. Grassland Congress, N. Zealand. Summary Sessions 1-24: 45-46.
12. BUCKMASTER, D. R., C. A. ROTZ and J. R. BLACK. 1990. Value of alfalfa losses on dairy farms. *Trans. ASAE* 33: 351-360.
13. BUXTON, D. R., J. S. HORNSTEIN, W. F. WEDIN, and G. C. MARTEN. 1985. Forage quality in stratified canopies of alfalfa, birdsfoot trefoil, and red clover. *Crop Sci.* 25: 273-279.
14. CARPINTERO, C. M., A. R. HENDERSON and P. MCDONALD. 1979. The effect of some pre-treatments on proteolysis during the ensiling of herbage. *Grass and Forage Sci.* 34: 311-315.
15. CARPINTERO, M. C., A. J. HOLDING and P. MCDONALD. 1969. Fermentation studies on Lucerne. *J. Sci. Fd. Agric.* 20: 678-681.
16. COBLENTZ, W., J. JENNINGS, and K. COFFEY. 2004. Biology and effects of spontaneous heating in hay. *In*: Proceedings of the National Alfalfa Symposium, December 13-15, San Diego, CA. Univ. of California, Davis, USA.
17. COLLINS, M. 1990. Composition and yields of alfalfa fresh forage, field cured hay, and pressed forage. *Agron. J.* 82: 91-95.
18. DEMARQUILLY, C. and R. JARRIGE. 1970. *In*: Proc. Of the 11<sup>th</sup> Int. Grassland Congress. Surfers Paradise, Queensland, Australia, pp. 733-737.

19. DEVUYST, A. et M. VANBELLE. 1964. Les bases scientifiques de l'ensilage. Agriculture Vol.XII. 2<sup>e</sup> serie N°1, pp. 125-140.
20. DULPHY, J. et C. DEMARQUILLY. 1981. Problemes particulieres aux ensilages. In Prévicion de la valeur nutritive des aliments de Rumiants. INRA Publ., pp. 81-104.
21. DUMON, M. G., E. M. VIVIANI ROSSI, E. M. MORENO, M. G. MONTERUBBIANESI, L. M. GUTIERREZ y E. DELPECH. 1995. Efecto del agregado de un inoculante biológico y del premarchitado sobre la calidad del silaje de una pastura de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.). Rev. Arg. Prod. Anim. 15 (1): 153-156.
22. FICK, G. W. and S. C. MUELLER. 1989. Alfalfa: quality, maturity, and mean stage of development. Cornell University, Dept. of Agronomy, NY, USA. Information Bulletin 217, 13 p.
23. FONNESBECK, P. V., M. M. GARCÍA DE HERNÁNDEZ, J. M. KAYKAY, and M. Y. SAIADY. 1986. Estimating yield and nutrient losses due to rainfall and field drying alfalfa hay. Anim. Feed Sci. Technol. 16: 7-15.
24. GAILLARD, F. et J. L. BERNER. 1988. La technique de l'ensilage en balles rondes sous film étirable. BTMEA, CEMAGREF. 33: 34-44.
25. GOERING, H. K. and P. J. VAN SOEST. 1970. Forage Fiber Analysis: Apparatus, reagents, procedures and some applications. U.S. Government Printing Office, Washington, DC, USA, USDA Agric. Handbook N° 379.
26. GRUM, D. E., W. L. SHOCKEY and W. P. WEISS. 1991. Electrophoretic examination of alfalfa silage proteins. J. of Dairy Sci. 74(1): 146-174.
27. GUTIÉRREZ, L. M., G. ROLDÁN, E. M. VIVIANI ROSSI, A. MAUTI y E. DELPECH. 1996. El ácido fórmico y la fertilización nitrogenada sobre el silaje de avena cv Bonaerense Payé. Rev. Arg. Prod. Anim. 16 (Supl. 1): 225-226.
28. GUTIÉRREZ, L. M., E. M. VIVIANI ROSSI, H. E. LABORDE y E. DELPECH. 1998. Efecto de un aditivo orgánico al silaje de avena y trébol rojo. Rev. Arg. Prod. Anim. 18 (Sup. 1): 141-142.
29. HAIGH, P. M. and D. G. CHAPPLE. 1998. The effect of formic acid with formaline addition and wilting on silage fermentation and intake, and on liveweight change of young cattle. J. Agric. Engng. Res. 69: 179-183.
30. HIJANO, E. H. 1993. Enfermedades de la alfalfa. In: SubPrograma Alfalfa (ed) Alfalfa: Protección de la pastura. EEA Manfredi, INTA. Agro Manuales de Cuyo 4, pp. 9-28.
31. HIJANO, E. H. y D. H. BASIGALUP. 1995. El cultivo de la alfalfa en la Republica Argentina. In. E. Hijano y A. Navarro (ed) La Alfalfa en la Argentina. INTA, Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, pp. 11-18.
32. HILL, R. R., J. S. SHENK, and R. F. BARNES. 1988. Breeding for yield and Quality. In: A. Hanson, D. Barnes, and R. Hill. Jr. (ed.), Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA. Agronomy, Series 29, pp. 809-825.
33. HOLLAND, C. and W. KEZAR. 1990. Pionner Forage Manual: A Nutritional Guide. Pionner HI-Bred International, Des Moines, Iowa, USA. 55p.
34. HUSET, D. E., D. A. SCHNEBBE, J. L. KUGLER, and M. A. PETERSON. 1991. Registration of 'WL 322 HQ' alfalfa. Crop Sci. 31: 1699-1670.
35. IWAN, J. M., J. F. SHANAHAN, and D. H. SMITH. 1993. Impact of environmental and harvest management variables on alfalfa forage drying and quality. Agron. J. 85: 216-220.
36. JOHNSON, L., D. JOHNSON, and J. REICH. 2002. Alfalfa varieties now and in the future from CAL/WEST Seeds. Proceedings 32<sup>nd</sup> Western Alfalfa & Forage Conference. Dec. 11-13, Reno, Nevada, USA. Univ. of California, Davis, p. 215.
37. JUAN, N. A. 1996. Resultados de Ensayos sobre Utilización de Forrajes Conservados en INTA Anguil en 1994-1995. Resúmenes Jornada de Actualización para Productores, Proyecto PROPEFO, EEA Anguil, INTA, pp. 6-11.
38. JUAN, N. A., M. P. AZCÁRATE y A. J. PORDOMINGO. 2001. Valor nutritivo de los forrajes, granos y suplementos disponibles en la región de influencia del INTA Anguil. Bol. Div. Técnica N° 71, EEA Anguil INTA, pp. 88-93.
39. JUAN, N. A., R. JOULI, A. J. PORDOMINGO y F. BABINEC. 2001. Utilización de henos de alfalfa y de avena para sustituir verdeo de avena en invernada. Bol. Div. Técnica N° 71, EEA Anguil INTA, pp. 96-99.
40. JUAN, N. A., A. J. PORDOMINGO y R. JOULI. 2001. Engorde de vaquillonas a corral con silaje de maíz y heno de alfalfa. Bol. Div. Técnica N° 71, EEA Anguil INTA, pp. 159-162.
41. JUAN, N. A., L. A. ROMERO y O. A. BRUNO. 1995. Conservación del forraje de alfalfa. In. E. Hijano y A. Navarro (ed) La Alfalfa en la Argentina. INTA, Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, pp. 173-192.

42. JUAN, N. A., C. C. SHEAFFER, D. K. BARNES, D. R. SWANSON, and J. H. HALGERSON. 1993. Leaf and stem traits and herbage quality of multifoliolate alfalfa. *Agron. J.* 85: 1121-1127.
43. JUAN, N. A., SHEAFFER, C. C. y BARNES, D. K. 1990. Alfalfa multileaflet expression and its relation to forage quality. Report 32nd. North American Alfalfa Improvement Conference, Pasco, WA, USA, p. 32.
44. KALU, B. A. and G. W. FICK. 1983. Morphological stage of development as a predictor of alfalfa herbage quality. *Crop Sci.* 23: 1167-1172.
45. KJELGAARD, W. 1979. Energy and time needs in forage systems. *Trans. ASAE.* 22: 3.
46. KOEGEL, R. G., R. J. STRAUB, and R. P. WALGENBACH. 1985. Quantification of mechanical losses in forage harvesting. *Trans. ASAE* 28: 1047-1051.
47. LATRILLE, L. y D. ALOMAR. 1993. Experiencias en el uso de aditivos de ensilajes. *Ciencias e Investigación Agraria (Chile)* 20 (2): 345-371.
48. LECHTEMBERG, V. L. and V. A. HOLT. 1982. Innovations in hay harvesting and storing. *In: Proc. Natl. Alfalfa Symp.*, Lexington, KY. 6-8 April. Certified Alfalfa Seed Council, Woodland, CA, USA, p. 38-47.
49. LINN, J. and N. P. MARTIN. 1985. Using Forage Test Results in Dairy Rations. *Agric. Extension Service Bulletin, AG-FO-2637*, Univ. of Minnesota, USA, 5 p.
50. LOPER, G. M. 1968. Effect of aphid infestation on the coumestrol content of alfalfa varieties differing in aphid resistance. *Crop Sci.* 8: 104-106.
51. MACDONALD, A. D. and E. A. CLARK. 1987. Water and quality loss during field drying of hay. *Advances in Agronomy* 41: 407-437.
52. MANITOBA AGRICULTURE, 2005. The breakdown on hay preservatives and additives, Manitoba Agric., Food and Rural Initiatives, Manitoba, Canada, 7 p.
53. MARTEN, G. C. and R. N. ANDERSEN. 1975. Forage nutritive value and palatability of 12 common annual weeds. *Crop Sci.* 15: 821-827.
54. MARTEN, G. C., J. S. SHENK, and F. E. BARTON. 1990. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): Analysis of forage quality. U.S. Government, Washington D.C., USA, USDA-ARS Agric. Handbook N° 643, 110 p.
55. MARTEN, G. C., D. R. BUXTON, and R. F. BARNES. 1988. Feeding Value (Forage Quality). *In: A. Hanson, D. Barnes, and R. Hill. Jr. (ed.), Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA. Agronomy, Series 29, pp. 463-491.*
56. MAYLAND, H. F., G. SHEWMAKER, J. BURNS, and D. FISHER. 1998. Morning and evening harvest effects on animal performance. *In: Proc. California Alfalfa Symposium. Dec. 3-4. Reno, NV, USA. Univ. of California, Davis.*
57. MCDONALD, P., A. R. HENDERSON and S. J. E. HERON. 1991. *Biochemistry of Silage (2<sup>nd</sup> ed.)*. Chalcombe Publishers, UK, 340 p.
58. MCKERSIE, B. D. 1985. Effect of pH on proteolysis in ensiled legume forage. *Agronomy Journal.* 77: 81-86.
59. O'KIELY, P. 1991. Factors affecting silage fermentation. 5<sup>th</sup> Annual European Animal Production Congress. Dublin. Ireland, pp. 79-119.
60. ODDINO, C. 1993. Principales aspectos a tener en cuenta para lograr rollos de calidad. 1<sup>ras</sup> Jornadas Nac. de Reservas Forrajeras. Noviembre 11-12, EEA Manfredi INTA, pp. 1-6.
61. ORLOFF, S., R. VARGAS, W. CANEVARI, and K. HEMBREE. 2003. Progress in Roundup Ready alfalfa. *In: Proc. California Alfalfa Symposium. Dec. 18-19. Monterrey, CA. UC Cooperative Extension, Univ. of California, Davis.*
62. PAULI, A. W., V. L. LECHTEMBERG, and W. F. WEDIN. 1988. Equipment for harvesting, transporting, storing and feeding. *In: A. Hanson, D. Barnes, and R. Hill. Jr. (ed.), Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA. Agronomy, Series 29, pp. 567-594.*
63. PITT, R. E. and R. Y. LEINBENSBERGER. 1987. The effectiveness of silage inoculants: A systems approach. *Agricultural Systems* 25: 27-49.
64. POLAN, C. E., D. E. STIEVE and J. L. GARRETT. 1998. Protein preservation and ruminal degradation of ensiled forage treated with heat, formic acid, ammonia, or microbial inoculant. *J. Dairy Sci.* 81: 765-776.
65. RAINERO, H. P., N. E. RODRÍGUEZ, J. A. LÓPEZ y N. M. RODRÍGUEZ. 1995. Manejo de las malezas en el cultivo de alfalfa. *In: E. Hijano y A. Navarro (ed) La Alfalfa en la Argentina. INTA, Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, pp. 108-122.*
66. ROGERS, J. 2003. Is your hay cut right but baled wrong?. *Ag News & Views. The Samuel Roberts Noble Foundation, January.*

67. ROGERS, J. 2005. The costs of hay waste add up. *Ag News & Views*. The Samuel Roberts Noble Foundation, January.
68. ROMERO, L., O. BRUNO, M. DÍAZ y M. GAGGIOTTI. 1995. Efecto del momento de empaquetado sobre la calidad de henolajes de alfalfa. *Información Técnica para Productores*. EEA Rafaela INTA, 10 p.
69. ROMERO, L. A., O. A. BRUNO y M. C. GAGGIOTTI. 1991. Alimentación de vaquillonas con rollos de alfalfa tapados y sin tapar. *Jorn. Información Técnica para Productores*. Abril 1991. EEA Rafaela INTA, pp. 65-66.
70. ROMERO, L. A., O. A. BRUNO y M. C. GAGGIOTTI. 1991. Sistemas de almacenamiento de rollos. *Jorn. Información Técnica para Productores*. Abril 1991. EEA Rafaela INTA.
71. ROMERO, L. A., O. A. BRUNO, J. L. FOSSATI y H. F. FENOGLIO. 1986. Comparación de rollos y fardos: evaluación de la calidad. EEA Rafaela INTA. *Información para Extensión* N° 57, 4 p.
72. ROMERO, L. A., O. A. BRUNO, J. L. FOSSATI, M. J. MONDINO y O. R. QUAINO. 1986. Calidad de rollos: evaluación preliminar. EEA Rafaela INTA. *Información para Extensión* N° 67, 6 p.
73. ROTZ, C. A. and R. E. MUCK. 1994. Changes in forage quality during harvest and storage. *In: G. Fahey, M. Collins, D. Mertens, and L. Moser (ed.)*. Forage quality, evaluation and utilization. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA., pp. 828-868.
74. ROTZ, C. A., R. E. PITT, R. E. MUCK, M. S. ALLEN, and D. R. BUCKMASTER. 1993. Direct-cut harvest and storage of alfalfa on the dairy farm. *Trans. ASAE* 36(3): 621-628.
75. ROTZ, C. A., R. J. DAVIS, and S. M. ABRAMS. 1991. Influence of rain and crop characteristics on alfalfa damage. *Trans. ASAE* 34: 1583-1591.
76. ROTZ, C. A., S. M. ABRAMS, and R. J. DAVIS. 1987. Alfalfa drying, loss and quality as influenced by mechanical and chemical conditioning. *Trans. ASAE* 30: 630-635.
77. SAVOIE, P., C. A. ROTZ, H. F. BUCHOLTZ, and R. C. BROOK. 1982. Hay harvesting system losses and drying rates. *Trans. ASAE* 25: 581-585.
78. SEALE, D. R., C. M. QUINN and P. A. WHITTAKER. 1981. Microbiological and chemical changes during the first 22 days of ensilage of different grasses. *J. Agric. Res.* 20: 61-71.
79. SHEAFFER, C. C., G. D. LACEFIELD, and V. L. MARBLE. 1988. Cutting schedules and stands. *In: A. Hanson, D. Barnes, and R. Hill. Jr. (ed.)*, Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA. Agronomy, Series 29, pp. 411-437.
80. SHENK, J. S. and M. O. WESTERHAUS. 1994. The application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. *In: G. Fahey, M. Collins, D. Mertens, and L. Moser (ed.)*. Forage quality, evaluation and utilization. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA., pp. 406-449.
81. SHINNERS, K. J., R. G. KOEGEL, and R. J. STRAUB. 1991. Leaf loss and drying rate of alfalfa as affected by conditioning roll type. *Appl. Eng. Agric.* 7: 46-49.
82. STALINGS, C. C., R. TOWNES, B. W. JESSE, and J. W. THOMAS. 1981. Changes in alfalfa haylage during wilting and ensiling with and without additives. *J. Anim. Sci.* 53: 765-773.
83. TILLEY, J. M. and R. A. TERRY. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.* 18: 104-111.
84. UNDERSANDER, D., N. MARTIN; D. COSGROVE, K. KELLING, M. SCHMITT, J. WEDBERG, R. BECKER, C. GRAU and J. DOLL. 1991. Alfalfa Management Guide. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA. 41 p.
85. VILLATA, C. A. 1993. Bioecología y control de plagas en alfalfa. *In: SubPrograma Alfalfa (ed) Alfalfa: Protección de la pastura*. EEA Manfredi, INTA. *Agro Manuales de Cuyo* 4, pp. 31-76.
86. VIRTANEN, A. 1933. The A.I.V. method of preserving fresh fodder. *Emp J Exp Agric* 1: 143-155.
87. VIVIANI ROSSI, E. M., L. M. GUTIÉRREZ y C. CANGIANO. 2001. Efecto del ácido fórmico sobre el perfil fermentativo en silajes de alfalfa. *Avances en Producción Animal (Chile)* 26 (1-2): 175-180.
88. VIVIANI ROSSI, E. y L. GUTIÉRREZ. 1998. Aditivos para silajes y henolajes. *In INTA PROPEFO (ed) Ultimos avances en silajes*. Curso de Actualización para Profesionales. EEA Manfredi INTA, pp. 15-20.
89. VIVIANI ROSSI, E. M., E. MORENO, S. SAN MARTINO y L. M. GUTIÉRREZ. 1995. Evaluación de henolajes empaquetados de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el sudeste bonaerense. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 15(1): 156-158.
90. VOLENEC, J. J. and J. CHERNEY. 1990. Yield components, morphology, and forage quality of multifoliolate alfalfa phenotypes. *Crop Sci.* 30: 1234-1238.
91. WHITNEY, L., H. AGRAMAL, and R. LIVINGSTON. 1969. Stomatal effects on high temperature, short time drying of alfalfa leaves. *Trans. ASAE*, pp. 769-771.
92. WILKEN, L., H. AGRAMAL and R. LIVINGSTON. 1969. Stomatal effects on high temperature, short time drying of alfalfa leaves. *Trans. ASAE*, p. 769-771.
93. ZUBIZARRETA, J. 1992. Reservas: Uso y Análisis. *Rev. CREA*. Junio/Julio, pp. 90-97.



## Meteorismo espumoso (empaste) en pastoreo

*Méd. Vet. (MSc) Patricio Davies,  
Méd. Vet. Alicia Dillon,  
Ing. Agr. (MSc) Daniel Méndez  
EEA General Villegas - INTA*





## Introducción

Frente a otras actividades de las empresas agropecuarias pampeanas, los sistemas ganaderos se ven sujetos a una elevada exigencia en cuanto a resultados económicos. Esto ha generado la necesidad de aumentar los niveles de producción y la calidad de los recursos forrajeros y a intensificar su utilización.

La principal especie forrajera que responde a esta necesidad es la alfalfa que, como pastura pura o en mezcla con otras especies, está ampliamente difundida en grandes áreas de producción de carne y leche de la Argentina. Los altos niveles de producción que es capaz de generar esta forrajera están asociados al problema del empaste o meteorismo espumoso de los vacunos, que se ha extendido a gran parte del período de utilización de la especie por la difusión de cultivares con bajo o nulo reposo invernal.

Si bien no se dispone de estadísticas sobre pérdidas promedio anuales, tanto directas como indirectas (subclínicas), éstas suelen ser elevadas cuando prevalecen condiciones de alto riesgo. También deben considerarse las pérdidas emergentes por no utilizar especies forrajeras valiosas o hacerlo cuando han perdido calidad.

## Mecanismos del empaste

El forraje consumido, tras la primera masticación e insalivación, ingresa en el rumen, donde sufre un proceso de fermentación a partir del cual se originan gases (anhídrido carbónico y metano) que normalmente se separan del resto del contenido ruminal y son eructados.

Las leguminosas meteorizantes como alfalfa, trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.), de muy buena calidad forrajera, tienen una velocidad inicial de desaparición ruminal 25-30% más rápida que la de las leguminosas no meteorizantes, lo que hace que en las etapas tempranas de la digestión produzcan un elevado volumen de gases y una gran acumulación de partículas vegetales en el rumen (15). Estas últimas, junto con proteínas vegetales y polisacáridos microbianos, dan origen a una masa espumosa formada por pequeñas burbujas estables que retienen los gases e inhiben la eructación, provocando un aumento progresivo de la presión en el rumen. Las consecuencias varían entre una disminución en el consumo en los casos leves, hasta la muerte por asfixia en los cuadros graves (16).

## Factores de riesgo

Los factores de riesgo involucrados en la aparición del empaste se relacionan con la pastura, el animal, el manejo y las condiciones ambientales (Figura 1).

## Composición de la mezcla forrajera y estado fenológico

La alfalfa es la leguminosa meteorizante más peligrosa, seguida por los tréboles blanco y rojo. Dado que el predominio de estas especies en una pastura consociada aumenta el riesgo de empaste, se recomienda que las gramíneas representen el 50% o más del forraje disponible en la mezcla (13, 5). El estado fenológico o de madurez en el que se encuentra la alfalfa en un momento dado es la variable que mejor se asocia con la apa-

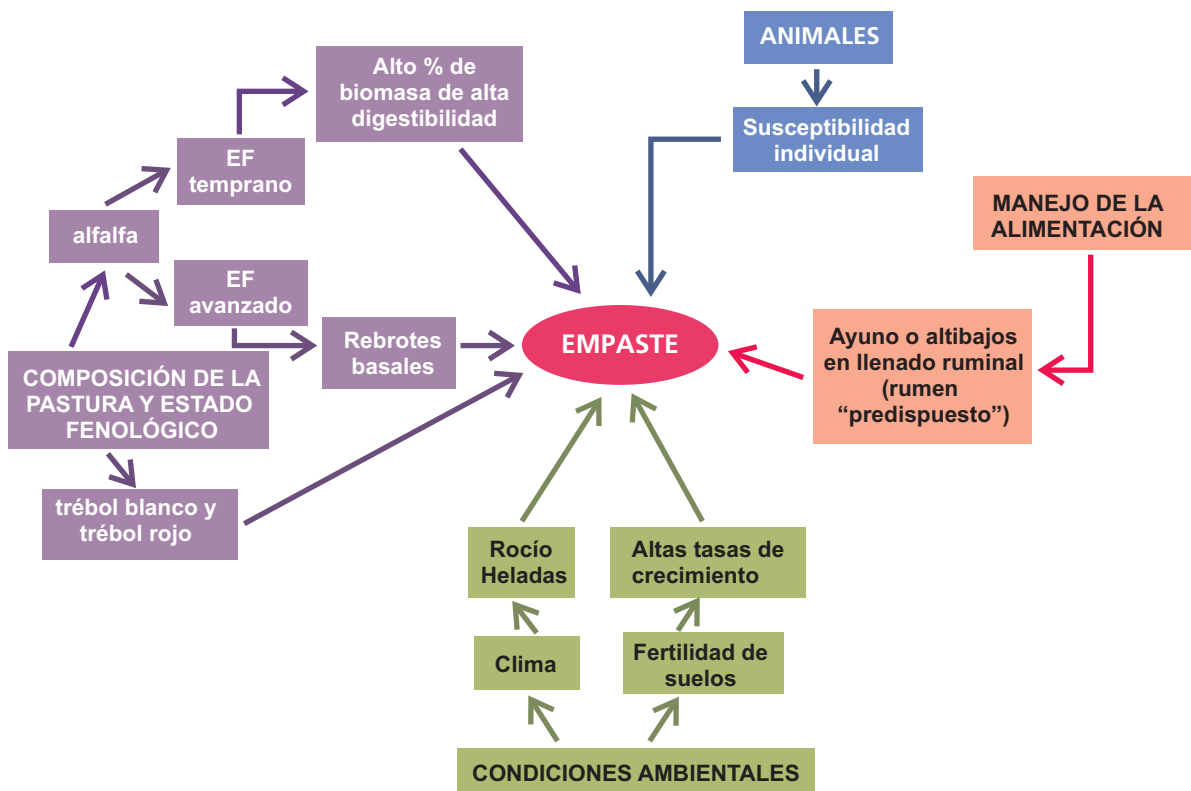


FIGURA 1 – Factores de riesgo que predisponen la ocurrencia de empaste o meteorismo espumoso.

rición del empaste (14). En etapas tempranas, como el estado vegetativo, el pasto disponible presenta una alta relación hoja:tallo (más de 2.0), un elevado contenido de proteína bruta (más de 20%), un bajo contenido de pared celular (40%) y una gran fragilidad de las hojas, características que se relacionan directamente con un alto nivel de riesgo de empaste.

A medida que la alfalfa madura se aminora su potencial meteorizante debido a que disminuye el contenido de proteína bruta, aumenta la proporción de pared celular (fibra), y principalmente desciende la relación hoja:tallo, a punto tal que al 10% de floración esos parámetros alcanzan valores de 18%, 50% y 1,30, respectivamente. Lamentablemente, si bien la pastura es menos peligrosa cuando está «pasada», también disminuye su calidad y, por consiguiente, su valor nutritivo (23); sumado a esto, aumenta la biomasa de rebrotos basales, que pueden ser seleccionados por el animal y constituir así una situación de alto riesgo.

### ***Susceptibilidad de los animales***

Con respecto a los animales, existe una susceptibilidad individual hereditaria frente al empaste (22). Las diferencias observadas entre razas no son tan importantes como las que ocurren entre individuos de una misma raza. En este sentido se ha observado una mayor susceptibilidad en los animales jóvenes, que tiene relación con el mayor volumen del rumen con respecto al resto del cuerpo. Este argumento también podría explicar la menor susceptibilidad observada entre novillos de razas índicas con respecto a aquello de razas británicas.

En cuanto a las diferencias identificadas en los animales propensos a empastarse, en general se ha visto menor producción de saliva y un ambiente ruminal de composición particular, con menores valores de pH, mayor capacidad de producción de gas y más altas concentraciones de proteínas solubles, clorofila y partículas de forraje en digestión. Además, se ha hallado una tasa de pasaje más lenta del contenido ruminal, que resulta ser una característica importante, ya que es factible, como se verá más adelante, operar sobre la misma a través del manejo de la alimentación para disminuir el riesgo de empaste.

## ***Manejo de la alimentación***

El ayuno previo al pastoreo, como cuando se retiran los animales de la pastura durante la noche, provoca al reingreso niveles de consumo más altos y, por consiguiente, mayor peligro de empaste. En el rumen de animales ayunados se ha encontrado una disminución de la actividad de degradación proteica, lo que favorece la persistencia de las espumas (11). En los sistemas de pastoreo rotativo suele darse esta situación, aunque con magnitud variable según el nivel de pasto asignado a cada animal; cuando éste es bajo, puede derivar en escasa disponibilidad de forraje hacia el final de la utilización de cada franja.

La alimentación previa contribuye a determinar las características del ambiente ruminal, haciendo que el mismo esté más o menos «predispuesto» al empaste. En ese contexto, cuando el animal consume leguminosas de muy alta calidad, se establece en el rumen una fase o estrato superior de material compuesto por partículas finas que, cada vez que el animal come, facilita la estabilización de la espuma (15). Ésta es una razón por la cual se recomienda la sustitución del forraje base como medida para el control del empaste. En ese sentido, la suplementación con fibra de alta calidad, como el silaje de maíz, contribuye a disminuir el riesgo (4). Con ese mismo fin se ha sugerido el uso de concentrados, aunque éstos son más útiles para vehicular el suministro de ionóforos o tensioactivos, para lo cual se requieren bajas cantidades de suplemento.

### Condiciones ambientales

El riesgo de empaste está asociado con la tasa de crecimiento del pasto y ésta, a su vez, con las condiciones ambientales. Los períodos con temperaturas moderadas, alta radiación solar y adecuada humedad, que generan altas tasas de crecimiento, son los de mayor riesgo (24). Un comentario similar puede hacerse respecto de la fertilidad de los suelos.

También son de alto riesgo las épocas de sequía, sobre todo en pasturas mixtas con alfalfa, debido a la mayor capacidad de crecimiento de ésta con respecto a las gramíneas. Estas últimas también pueden sufrir pérdidas de plantas por estrés hídrico, dejando así espacios vacíos que luego pueden ser ocupados por el trébol blanco, integrante habitual –por siembra o presencia espontánea– de las pasturas en zonas húmedas y subhúmedas.

Las heladas o el rocío aumentan la fragilidad celular de las hojas, facilitando la masticación y, por consiguiente, la rápida disponibilidad de los componentes solubles del forraje en el rumen, lo que incrementa el riesgo de empaste (21).

## Integración de una estrategia de prevención y control

En vista de la diversidad de factores que intervienen en la aparición del empaste, lograr una prevención eficaz no sólo es difícil sino también un problema recurrente en cada ciclo de utilización de las pasturas. Esto hace que, en la práctica, las «recetas» de control suelen tener resultados variables.

En condiciones de campo, el factor central en el armado de una estrategia preventiva es la elección de alguna de las técnicas o de los insumos de eficacia comprobada que están disponibles. Complementariamente, entre otros aspectos que son imprescindibles para disminuir el umbral de riesgo, existe un importante margen de acción en lo referente a la composición de la pastura, el manejo de la alimentación (sistema de pastoreo y suplementación) y el entrenamiento del personal a cargo de los animales.

En lo referente al manejo, los puntos relevantes son:

### ***Vigilancia de las tropas***

Una significativa proporción del éxito en la prevención del empaste depende de altos niveles de dedicación y experiencia del personal de ganadería, que debe tomar decisiones rápidas y precisas en cuanto al manejo del pastoreo y de los animales. Entre las varias cuestiones a decidir, se pueden mencionar: el tiempo de permanencia en cada franja de pastoreo para, en función del forraje remanente, evitar grandes variaciones de consumo; la identificación de animales susceptibles; el movimiento de los animales sobre la base de la detección temprana de problemas; etc. Frente a algunas situaciones de alto riesgo que suelen ocurrir en las primeras horas de ingreso en una nueva franja, este tipo de acciones pueden determinar el éxito o el fracaso en el tratamiento del problema.

### ***Detección de animales susceptibles***

En todos los rodeos existe un porcentaje, usualmente bajo, de animales muy susceptibles que deben ser identificados y apartados, a fin de facilitar el manejo del resto de la tropa. En función de los objetivos de producción, estos animales pueden integrar una tropa de invernada lenta, sea cosechando el excedente de menor calidad que deja la tropa rápida; utilizando recursos forrajeros con baja participación de alfalfa; o bien entrando en un planteo intensivo con alimentación a corral. También se pueden implementar distintas combinaciones de éstas u otras alternativas, incluyendo el suministro de bolos intrarruminales, como se verá más adelante. Lo importante es no supeditar el manejo de toda la tropa a la existencia de estos pocos animales susceptibles que impidan una solución razonable del problema.

Un uso adicional de estos animales sería el de «detectores» de condiciones de alto riesgo, haciéndolos pastorear bajo vigilancia una franja sospechosa antes del ingreso del resto de la tropa.

### **Manejo del pastoreo**

Un manejo adecuado del pastoreo para la prevención del empaste supone tener en cuenta los siguientes detalles:

## Consumo y calidad del forraje

En un esquema que apunte al alto rendimiento animal se debe mantener, tanto como sea posible, una dieta constante en calidad y cantidad que permita alcanzar altos niveles de consumo y evite los altibajos que, al provocar cambios drásticos en el ambiente ruminal, aumentan el riesgo de empaste (21). Este objetivo es factible de lograr utilizando alfalfa en prefloración con un esquema de pastoreo donde los cambios de franja se produzcan a intervalos cortos, que permitan controlar mejor la cantidad y calidad del forraje disponible.

También se debe trabajar con cargas moderadas, que sean compatibles con un nivel de asignación de forraje del 3 % del peso vivo (p.v.), que para un animal de 300 kg es equivalente a 9 kg de MS día<sup>-1</sup>. En términos de eficiencia de cosecha, esto representa un techo cercano al 60%, que sería la máxima utilización de este tipo de pasturas que permita mantener un alto nivel de calidad de la dieta.

En ese contexto, y en cuanto al manejo del pastoreo, se puede implementar un esquema de bajo riesgo realizando los cambios de franja durante el día, preferentemente después del mediodía, para hacer el «despunte» sin rocío y bajo vigilancia; al atardecer, los animales pueden volver a la franja anterior a fin de pasar la noche en un lugar seguro, con disponibilidad suficiente como para mantener el nivel de consumo sin restricciones. Este sistema permite tener un nivel de llenado ruminal más parejo en el tiempo, haciendo que los animales pasen a la próxima franja sin excesivo apetito. En este sentido, la intensificación del pastoreo podría disminuir el riesgo de empaste. Davies y col. (9) pusieron a prueba esta hipótesis en un trabajo realizado en la EEA INTA General Villegas sobre una pastura base alfalfa, que se utilizó con un nivel de asignación de forraje equivalente al 3,5% del p.v. Se comparó un sistema de pastoreo de 3 días de permanencia en cada franja *versus* un sistema intensivo de pastoreo diario, en donde cada franja estaba dividida en cuatro sectores que se utilizaban sucesivamente cada dos horas, con lo que se lograba que los animales dispusieran del horizonte superior de la pastura durante la mayor parte del día y del forraje menos peligroso durante la noche. Si bien el nivel de empaste, medido de acuerdo con una escala visual de 0 a 5 (Figura 2), no superó el grado leve en ambos tratamientos, fue significativamente menor en el pastoreo intensivo (1.05) con respecto al pastoreo tradicional (1.44).

## Alteraciones del sistema

Es fundamental mantener el esquema de pastoreo con la menor cantidad posible de alteraciones, por lo que se deben programar todos los movimientos de los animales. En las épocas de alto riesgo se deben evitar los encierres prolongados para el manejo sanitario o pesadas; en caso de ser necesarios, conviene hacer tropas pequeñas para que los animales no se desbasten.

## Selección del forraje en pastoreo

Tradicionalmente, se ha recomendado restringir la capacidad de selección de los animales pastoreando con un bajo nivel de asignación, para lograr altas eficiencias de cosecha (70-80%). Esto es lo indicado cuando la alfalfa se utiliza en avanzado estado de floración, porque el pastoreo con alta carga impediría que el animal seleccione los rebrotes basales y aumente el riesgo de empaste. Sin embargo, en este caso, la dieta consumida no tendría la calidad requerida para sostener altos ritmos de engorde.



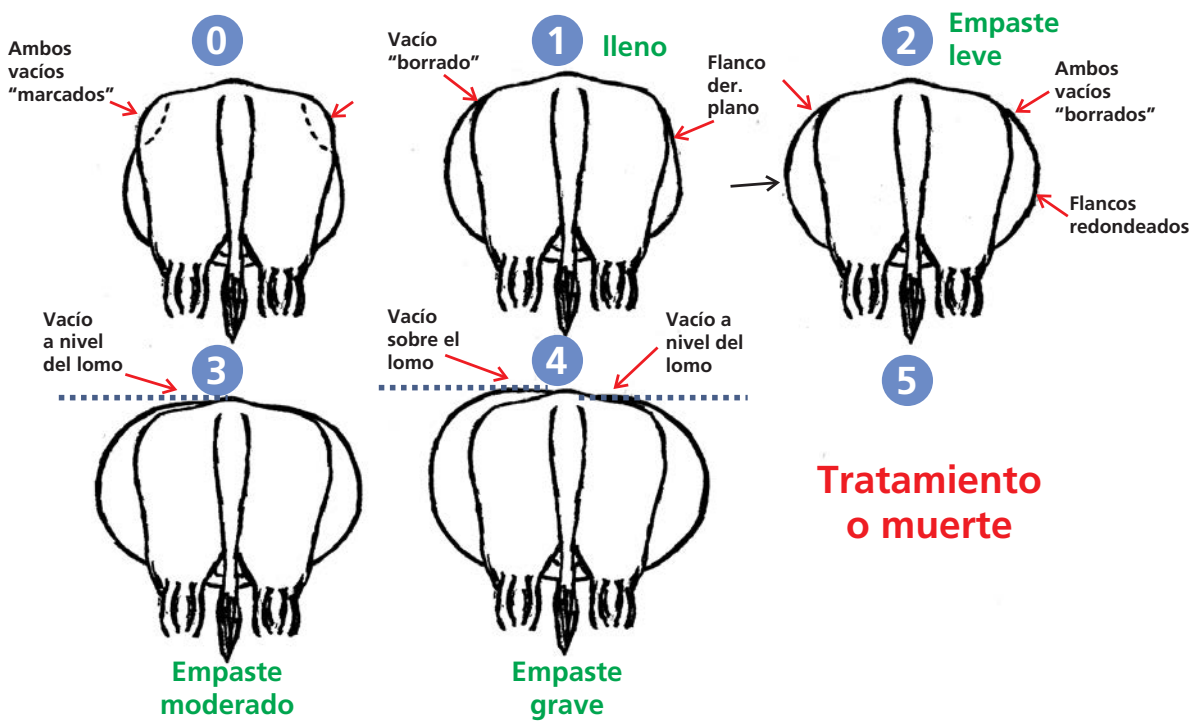


FIGURA 2 – Escala visual de estimación del grado de empaste en novillos. Adaptada de Davies y col. (11).

Cuando se trata de alfalfa en estados fenológicos más tempranos, la mayor parte del forraje ofrecido es de alta calidad, con lo cual no existe el beneficio de la técnica. Además, en condiciones de campo, este sistema de pastoreo con bajos remanentes suele provocar, hacia el final, desajustes en la disponibilidad que restringen el consumo y aumentan el riesgo de empaste (ver lo comentado previamente en **Manejo de la alimentación**).

### Pastoreo con lluvia, rocío o heladas

Se debe evitar el pastoreo con lluvia, rocío o heladas, a efectos de restringir el ingreso excesivo de agua en el rumen, que predispone a la formación de grandes volúmenes de espuma. Además, el pasto se torna más frágil y se mastica más fácilmente, disminuyendo el estímulo para la salivación. Es importante recordar que la saliva, en el rumen, actúa como antiespumante .

Si los fenómenos meteorológicos obligan a sacar la hacienda de la pastura, se debe contar con la provisión de reservas forrajeras de alta calidad, preferentemente silajes por su aporte de volumen. Para sobrellevar convenientemente estas eventualidades, es recomendable que la cantidad de reservas sea calculada de antemano. Cuando se retome el esquema de pastoreo, es necesario tener en cuenta que si los cambios en la dieta fueron muy pronunciados, el rumen no recupera rápidamente las condiciones ideales; en consecuencia, durante las primeras horas de pastoreo, se debe extremar la vigilancia de los animales (11).

### Suplementación con alimentos fibrosos de alta calidad

La sustitución de forraje peligroso por otro alimento que aporte volumen y calidad es una herramienta tradicionalmente recomendada y eficaz en la prevención del em-

paste. Normalmente se propone la utilización de heno de pasturas, pero la calidad de esta reserva suele ser muy variable; en condiciones de campo en general es baja y no supera el 50% de digestibilidad. Dado que la sustitución de pastura por este forraje puede originar una depresión del consumo y afectar la ganancia de peso de los animales, es conveniente disponer de otro tipo de reservas. El silaje de maíz, que al tener una digestibilidad promedio de alrededor de 65% ofrece una calidad más alta que la del heno, aparece como una alternativa muy interesante.

Bretschneider (4), probando suplementación con silaje de maíz a niveles equivalentes al 0,5 y 1% del p.v., registró un grado promedio de empaste moderado (1,8) y leve (1,5), respectivamente, sin diferencias entre tratamientos. Considerando que el testigo sin suplementar alcanzó un grado promedio de timpanismo entre moderado y severo (2,7), se concluyó que la técnica es eficaz para la reducción del empaste.

Por otro lado, el silaje es de gran ayuda para cubrir eventualidades tales como las lluvias, que complican la prevención del empaste en la mayoría de los casos. En tales circunstancias, se puede pasar del pastoreo a la alimentación con silaje en confinamiento sin necesidad de realizar acostumbamiento a la nueva dieta y, al restablecerse las condiciones normales, volver rápidamente al pastoreo.

### **Composición de la pastura**

Como se dijo antes, se ha establecido que las pasturas con alta proporción de gramíneas (mayor de 50%) son menos peligrosas, lo que sugiere que disminuir el stand de plantas de alfalfa a la siembra ayudaría a bajar el nivel de riesgo de empaste. Una primera objeción a esto se relaciona con la productividad primaria de las pasturas consociadas, que depende en gran medida de la participación de la alfalfa. Por otra parte, en condiciones de carga moderada no necesariamente disminuye la proporción de aquélla en la dieta ya que los animales pueden ejercer un alto nivel de selección.

También se recomienda modificar la distribución de las especies en la pastura, aunque esta práctica sólo podría tener éxito si las gramíneas y las leguminosas se sembraran en la misma línea; aún así, la época del año y las condiciones climáticas pueden inducir distintas velocidades de crecimiento de las especies que, por otra parte, concentran la mayor parte de su biomasa a diferentes alturas del canopeo.

En las pasturas base alfalfa, la presencia de trébol blanco puede complicar el manejo cuando se usan tratamientos preventivos aplicados por aspersión, ya que el producto no siempre puede alcanzar los niveles más bajos, donde se encuentra esta última especie.

## **Uso de técnicas e insumos en la prevención del empaste**

Dada la variabilidad del problema, siempre conviene anticipar medidas apuntando al máximo nivel de seguridad y usar una estrategia que sume manejo y alguno de los productos o tratamientos disponibles. La elección de éstos dependerá de las posibilidades operativas y económicas de cada empresa, pero siempre se deberá tener en cuenta el nivel de eficacia del procedimiento en cuestión.

Una consideración adicional debe hacerse con respecto a las técnicas que implican trabajos sobre la pastura. En este caso, cuanto mayor sea la receptividad del recurso forrajero, menor será el costo de aplicación de la técnica, ya que éste se diluirá en una

mayor cantidad de animales por unidad de superficie. Cabe aclarar que, en este caso, el concepto de receptividad apunta a tener en la pastura una elevada proporción de plantas de alfalfa de buena calidad, y no a utilizar la pastura con un alto nivel de acumulación de materia seca («pasada»), que seguramente tendrá una calidad inferior a la deseada.

### ***Premarchitado del forraje***

Una técnica que se adapta bien a los planteos intensivos -dado que demanda maquinaria, personal y tiempo- es el marchitamiento del forraje por corte o por aplicación de un desecante. Esta técnica puede ser muy eficaz si se usa el procedimiento correcto, pero también puede producir pérdidas en cantidad y/o calidad de forraje, cuya magnitud depende de la forma de implementación.

a) *Marchitamiento por corte* – En este caso, el forraje se corta y se deja orear en las andanas el tiempo suficiente para que alcance un contenido de agua inferior al 50%, que equivale al punto en el que luego de apretar un manojo de alfalfa en la mano, éste se expande lentamente y la palma queda seca. El tiempo de oreo varía en función de la temperatura y la humedad relativa del ambiente; por ejemplo: a 28 °C de temperatura media y con 66 % de humedad relativa, una alfalfa pura a comienzos de floración tarda unas 15 horas en alcanzar el 50% de humedad. El tiempo de oreo se puede acelerar con el uso de maquinaria de corte provista de rodillos acondicionadores, por lo que el uso de estos dispositivos es recomendable.

Cuanto más rápido sea el proceso de secado, más fácil resulta mantener la calidad original de la alfalfa, ya que las pérdidas por respiración, o eventualmente por lavado, son menores. Alli y col. (1) midieron, entre las 0 y las 52 horas desde el momento del corte, una disminución del contenido de proteína cruda (de 18,5 a 15,1%), de carbohidratos totales (de 9,1 a 8,0%) y de carbohidratos solubles (de 44,6 a 37,3%). Estas pérdidas fueron atribuidas, en el caso de los carbohidratos, a la respiración poscorte y a la caída de hojas en la manipulación del forraje al enfardarlo, y en el caso de las proteínas, a este último factor. Cuando los animales remueven el forraje al pastorear directamente de las andanas, se produce un efecto similar al descrito. Como recomendación general se sugiere que la superficie a cortar debe proporcionar una cantidad de forraje tal que sea consumida dentro de los 2 días subsiguientes al corte.

Como esta técnica se basa en el consumo directo, durante los primeros días se puede observar una disminución del mismo; pero luego, al acostumbrarse los animales, el consumo resulta igual o superior al esperable con la utilización de la alfalfa en pie (12). De lo anterior se desprende la conveniencia de realizar esta práctica en forma continua. Además de prevenir el empaste, el corte sistemático de la pastura permite mantener una adecuada limpieza de la misma, que es importante para la obtención de reservas forrajeras de alta calidad. Si por algún motivo el lapso entre el corte y la utilización se prolonga, se debe verificar la existencia de sectores con trébol blanco o rebrotes de alfalfa, que pueden representar riesgo de empaste.

b) *Desecamiento con herbicidas* – Ésta es una técnica que genera menos complicaciones operativas que el método anterior y que también es de alta efectividad si se realiza adecuadamente. Uno de los productos más usados es el paraquat, que es asperjado sobre la pastura 48 horas antes del pastoreo, en dosis que oscilan entre 150 y 250 ml ha<sup>-1</sup> (producto formulado al 27,6%), según se use o no un surfactante no iónico al 0,2% como

agente humectante (18). Dado que este último facilita el contacto del producto con las hojas, su uso es recomendable. El paraquat debe ser aplicado sobre la superficie de las hojas en condiciones de alta luminosidad y ausencia de humedad (rocío, lluvia). Para una correcta aplicación, se recomienda usar un volumen de agua de 100 a 120 l ha<sup>-1</sup>, con una presión de 45 libras cm<sup>-2</sup>. Es conveniente emplear equipos que copien el terreno y eviten el «cabecero» de los botalones, que deja áreas sin tratamiento. También es recomendable utilizar la tecnología *antideriva*, que facilita la aplicación del producto. En resumen: es fundamental lograr una buena calidad de aplicación, tanto en la uniformidad de distribución como en el mojado de los niveles inferiores de la pastura; esto último es especialmente importante cuando hay importante presencia de trébol blanco o gran cantidad de rebrotes basales en la alfalfa.

Por otra parte, es necesario tener en cuenta que el forraje tratado con paraquat sufrirá una disminución en su calidad nutricional. Al respecto, Davies (8) midió una digestibilidad de 70% en hojas de alfalfa tratadas con el producto mencionado, mientras que las hojas del testigo sin tratar alcanzaron valores de 75,2%. Por otra parte, Latimori y col. (19) comprobaron que el desecamiento de la alfalfa con herbicidas registró un promedio de 98 kg ha<sup>-1</sup> de hojas caídas, en tanto que en el testigo sin tratar registró 65 kg ha<sup>-1</sup>. Los mismos autores también observaron que una lluvia de 141 mm causó una defoliación de 356 kg ha<sup>-1</sup> en la alfalfa desecada y de sólo 67 kg ha<sup>-1</sup> en el testigo sin tratar. Esta significativa defoliación fue asociada a pérdidas en la productividad animal, lo que implica que la técnica, si bien no tendría restricciones higiénicas porque el trabajo no detectó residuos del principio activo en la carne, podría no ser compatible con los objetivos de alta producción planteados en los sistemas intensivos de invernada.

## **Productos antiempaste**

En el mercado se dispone de una serie de productos que han demostrado distintos niveles de eficacia en la prevención y el control del empaste, y que incluyen tensioactivos sintéticos (poloxaleno y alcohol etoxilado), antiespumantes (dimetilpolisiloxano) y antibióticos (ionóforos). Los tensioactivos y antiespumantes pueden suministrarse en forma individual o colectiva Figura 3.

Como se puntualizó antes, la elección de un producto no debería basarse solamente en su costo directo, ya que un producto barato pero de baja eficacia puede resultar muy caro en función de las pérdidas productivas que puede ocasionar. Por otro lado, cuando se piensa en ajustar una técnica de suministro, debe incluirse en la comparación de alternativas el costo en horas/hombre y uso de maquinaria que puede insumir su correcta implementación. Si bien estos factores inciden de modo importante en el costo total, cuando se realiza el cálculo por dosis, las diferencias entre los productos más eficaces tienden a nivelarse.

### **a-) Antiespumantes**

Los más difundidos son las siliconas (dimetilpolisiloxano), que tienen un bajo costo por dosis. Impiden la formación de espuma al mezclarse con las partículas de forraje y los solubles presentes en el rumen. El método de suministro tradicional ha sido el de agregarlas en el agua de bebida, asegurando la concentración del producto con dosificadores automáticos o mediante el cierre del paso de agua al bebedero cada vez que se prepara la mezcla. El sistema resulta poco confiable ya que el consumo de agua de los animales es muy variable y depende del contenido de agua del forraje, de la existencia de fuentes alternativas (charcos) y de las condiciones ambientales (lluvias y



Forma de suministro	Ventajas	Desventajas
<b>Dosificación individual</b>	Dosificación segura de cada animal	Sólo practicable en tambo. Requiere mano de obra adicional.
<b>Rociado sobre las pasturas</b>	Practicable en todos los sistemas	Compromete maquinaria y mano de obra permanente. Aumenta los gastos operativos. Si hay deriva pueden quedar partes sin rociar. Las lluvias o el rocío lavan el tensioactivo.
<b>En mezcla con raciones</b>	Fácil suministro	Para máxima seguridad requiere racionamiento individual y acostumbramiento
<b>En el agua de bebida</b>	Fácil de implementar en todos los sistemas	Dificultad para asegurar el consumo de la dosis correcta.
<b>Bloques para lamer</b>	Aplicable al pastoreo extensivo.	Consumo variable. Poco confiable.

El sentido de la flecha indica mayor seguridad en el control.

**FIGURA 3** – Ventajas y desventajas de las formas de suministro de productos tensioactivos y antiespumantes ordenadas según el grado de seguridad que ofrecen en el control del empaste.

temperaturas). Todo esto obliga a realizar frecuentes estimaciones del consumo para corregir la dosis.

### **b-) Tensioactivos**

Cualquiera que sea la vía de suministro, los tensioactivos han demostrado ser más eficaces y de efecto más persistente que los antiespumantes (17). Por su efecto detergente humectan el forraje y emulsionan los lípidos del mismo, que a su vez ejercen un efecto antiespumante. En el mercado local se dispone de poloxaleno y de alcohol etoxilado, formulados como líquidos y en polvo. El suministro de estos productos en el agua de bebida tiene las mismas restricciones mencionadas en el punto anterior. Cuando la dosificación y el consumo de agua están bien controlados, el uso de estos productos puede tener un impacto muy positivo en la prevención y el control del empaste. La forma de aplicación más difundida en los sistemas de invernada pastoril es la aspersión de las pasturas con equipos terrestres; en este caso, al igual que con los desecantes, la eficacia depende de la buena calidad del procedimiento. Una vez aplicado y oreado el tensioactivo, los animales pueden ingresar en la pastura inmediatamente, siendo conveniente no esperar más que 1 o 2 días para iniciar el pastoreo ya que, en función de las condiciones climáticas, puede ocurrir un escurrimiento del producto. La dosis se ajusta en función de la cantidad de animales y de los días de permanencia en cada franja; por ejemplo: si los animales permanecerán 3 días en cada franja, se debe preparar la mezcla con la cantidad de producto equivalente a tres dosis por animal.

Dado que la aplicación encarece el costo por dosis, se ha intentado reducirlo mediante el asperjado de una superficie menor a la de la franja de pastoreo, pero sin disminuir la dosis de producto; sin embargo, los resultados informados han sido variables. Para aislar el efecto de los diversos factores que pueden producir la variación en los resultados de la técnica antes mencionada, en la EEA INTA General Villegas se llevó a cabo una prueba utilizando un sistema de pastoreo rotativo con 3 días de permanencia en cada franja, con un nivel de asignación de forraje equivalente al 3,0 % del p.v., y aplicando un agente tensioactivo comercial (alcohol etoxilado 25% p.a.) a dosis total en la mitad

de la superficie de cada franja de pastoreo (10). Los animales pastoreaban la mitad del tiempo allí y luego accedían a la mitad restante, que no había sido pulverizada. De acuerdo con los resultados obtenidos, la técnica no fue efectiva para disminuir la incidencia y la severidad del empaste.

### **c-) Ionóforos**

En el mercado local se ofrecen productos sobre la base de monensina, un modificador de la fauna ruminal cuyo efecto final, en relación con el empaste, es una reducción de la producción de gases en el rumen, principalmente de metano. Se formula en polvo, para suministrar en la ración, o en cápsulas de liberación lenta (bolos) que se colocan en el rumen y se usa a una dosis máxima de 300 mg animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. En el primer caso, hay que controlar que el mezclado sea homogéneo para evitar intoxicaciones por sobredosisación y lograr un consumo parejo del producto, que asegure la eficacia de la técnica. Cuando se suministra monensina en la ración (premezclada o incluida en un balanceado comercial) se debe tener en cuenta no superponer el uso de bolos, por el riesgo de intoxicación. La misma se evidencia por disminución del consumo, decaimiento y eventualmente la muerte del animal.

El suministro de bolos es adecuado para los sistemas de producción pastoriles, en cuanto a la facilidad de uso, pero no asegura prevención total. Según los fabricantes, los bolos son eficaces para prevenir hasta el 80% de las muertes por empaste y la duración de su efecto protector es de aproximadamente 100 días (20). Esto puede configurar una ventaja en algunos casos, pero no en aquellos en que el período de exposición es más corto, ya que los bolos no son recuperables y originan entonces una pérdida económica.

Otra aplicación práctica es la de suministrar bolos únicamente a los animales susceptibles de cada tropa, identificándolos por un número de caravana y de bolo a fin de facilitar el control de pérdida o agotamiento de dispositivos. De esta manera se reduce el costo de aplicación y se evita separar del resto de la tropa a los susceptibles para darles otro destino, como pasturas de menor calidad o engorde a corral.

### **d-) Utilización de leguminosas de bajo potencial meteorizante**

Desafortunadamente, las leguminosas que no son meteorizantes (*Lotus* spp., *Vicia* spp.) no se adecuan a los requerimientos de alta producción de materia seca que presenta la mayoría de los sistemas de invernada. En consecuencia, y pese a su potencial timpanizante, la alfalfa continúa siendo en el país la base de los sistemas pastoriles para la producción de carne y leche. Para corregir el problema existen, tanto a nivel nacional como internacional, líneas de investigación que buscan desarrollar alfalfas de bajo potencial meteorizante.

En el país, el INTA conduce en la EEA Manfredi un programa de mejoramiento genético cuyo objetivo es lograr un cultivar de alfalfa sin reposo invernal (GRI 8), de buen comportamiento agronómico y con baja velocidad inicial de desaparición ruminal (2, 3). Después de un largo proceso de selección, se ha obtenido un material experimental que está siendo evaluado desde 2004 en ensayos de pastoreo y que ha demostrado un efecto promisorio en la disminución de los casos de empaste leve y moderado. En Canadá, y como resultado de un programa de selección por menor digestibilidad inicial que se había implementado desde 1979, se inscribió en 2000 la variedad de marcado reposo



invernal (GRI 3) AC Grazeland Br (7), que logró disminuir en 62% (valor promedio) la incidencia de empaste (6).

Por otro lado, se está trabajando en varios países (Australia, Canadá, EE.UU., Comunidad Europea y Argentina) para desarrollar alfalfas transgénicas capaces de producir altos niveles de taninos condensados en hojas y tallos. Estos compuestos precipitan las proteínas solubles presentes en el rumen por lo que, al reducir la producción y la estabilidad de la espuma, disminuyen el potencial timpanizante de la alfalfa. Si bien se ha avanzado mucho en el tema, hasta el presente los materiales logrados son experimentales.

## Tratamiento de los animales empastados

El tipo de tratamiento del empaste depende del grado de meteorización que presenten los animales. En una escala de 0 a 5, como la presentada en la Figura 2, los animales con un grado 2 (meteorización leve) deben ser vigilados. Si la meteorización avanza a un grado 3 (moderado), deben ser retirados de la pastura en forma lenta y se debe aguardar hasta que se deshinchén, lo que generalmente ocurre 2 o 3 horas después. Además, la recomendación tradicional específica suministrar un tensioactivo por vía oral o intrarruminal, en dosis de tratamiento y en un vehículo de 100 ml de agua para favorecer la difusión del producto en el rumen. Sin embargo, en condiciones de campo, esta medida es impracticable en la mayoría de los casos ya que implica correr a los animales para sujetarlos, lo que puede resultar contraproducente.

Para tratar a los animales que presenten una meteorización grado 4 (grave), con síntomas de asfixia, se deberá realizar una incisión en el centro de la fosa paralumbar izquierda («huevo del vacío»), en sentido perpendicular a la línea del lomo. Esto tiene como fin perforar el saco dorsal del rumen y provocar la salida del gas libre. Para esta maniobra conviene utilizar un cuchillo preparado especialmente, con una hoja de 5-7 cm de largo, con punta aguda y 3 cm de ancho en la base. Si el volumen de espuma es muy grande, esta medida puede resultar insuficiente, en cuyo caso debe agrandarse la incisión hasta el tamaño de un puño para extraer contenido ruminal hasta aliviar la presión. Luego de esta maniobra, un profesional veterinario debe limpiar y suturar la herida y suministrar una medicación para evitar infecciones posteriores. Este procedimiento debe ser realizado en todos los casos, teniendo en cuenta que un alto porcentaje de los animales punzados muere por esta causa.

## Consideraciones finales

La importancia de la alfalfa como recurso forrajero de alta calidad y elevada producción obliga al productor a convivir con el empaste en los sistemas intensivos de producción de carne y leche.

Si se tienen en cuenta los factores que modifican el riesgo y se conocen los criterios que aseguran la eficacia de una determinada técnica de prevención, se puede lograr un razonable nivel de control del problema.

La selección de una estrategia preventiva debe responder a las posibilidades operativas y económicas de cada empresa. En las condiciones en las que generalmente se trabaja en nuestros sistemas, y debido a la dificultad para predecir la aparición del empaste, siempre conviene prever medidas apuntando al máximo nivel de riesgo. A la estrategia

elegida se le debe sumar calidad de aplicación y continuidad en su ejecución, asignando alto valor a la experiencia del personal involucrado.

El uso de tensioactivos asperjados sobre la pastura ofrece en general muy buenos resultados y se adapta a los recursos disponibles en la mayoría de los sistemas de invernada. Esta técnica, usada en combinación con las medidas de manejo que aumentan la eficacia en la prevención (ajustar el horario de entrada en una nueva franja, evitar el ayuno, etc.), constituye actualmente una alternativa viable para enfrentar el problema. En producción de leche, la posibilidad de suministrar productos en la sala de ordeño constituye una buena oportunidad para manejar el nivel de riesgo.

## Bibliografía

- 1- ALLI, I., E. ROBIDAS, E. NOOROZI and B.E. BAKER. 1985. Some changes associated with the field drying of lucerne and timothy. *Grass and Forage Science* (40): 221-226.
- 2- BASIGALUP, D. H. 2004. Control del empaste a través del mejoramiento genético. Cuadernillo Agro Mercado (Producción Animal). Año 24 - N° 84, pp. 26-28.
- 3- BASIGALUP, D. H., C. V. CASTELL and C. D. GIAVENO. 2004. Response to selection for lower initial rate of dry matter disappearance in the development of a bloat-tolerant non-dormant alfalfa population. *Journal of Genetics and Breeding* 57 (1): 31-38.
- 4- BRETSCHEIDER, G. 2000. Efectos de la suplementación con distintos niveles de silaje de maíz previo al pastoreo de alfalfa sobre la presentación de meteorismo espumoso bovino. Tesis MSc, UNMdP, FCA.
- 5- CARRUTHERS, V. R. 1991. Pasture composition and grazing management in dairy farms differing in the incidence of bloat. *In: Dairy Research and Development Corporation (DRDC) (ed.) Bloat / DRDC Bloat Workshop*. Ellinbank, Australia, Agosto 5-6, 8 p.
- 6- COULMAN, B. E., C. DUNCAN and B. P. GOPLEN. 1998. Response to four cycles of selection for low initial rate of digestion in alfalfa. Report of the 36<sup>th</sup> North American Alfalfa Improvement Conference, Bozeman, MT, August 2-6. p. 74.
- 7- COULMAN, B. E., M. GRUBER, T. A. Mc ALLISTER, W. MAJAK and D. THOMPSON. 2000. Future of alfalfa as a grazing crop: Bloat. *In: J. Bouton and G. Bauchan (ed.) Report of the 37<sup>th</sup> North American Alfalfa Improvement Conference*. July 16-19, Madison, WI, USA, pp. 351-358.
- 8- DAVIES, P. 1994. Efecto del marchitamiento sobre variables asociadas al potencial meteorizante de la alfalfa. Tesis MSc., UNMdP, FCA.
- 9- DAVIES, P., A. DILLON y D. G. MÉNDEZ. 2000. Control del meteorismo espumoso mediante la intensificación del pastoreo rotativo con novillos en pastoreo de alfalfa. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 20 (1):19-20.
- 10- DAVIES, P., A. DILLON y D. G. MÉNDEZ. 2001. Aplicación de un tensioactivo en área reducida de una pastura de alfalfa y riesgo de meteorismo espumoso (empaste). EEA Gral. Villegas. Informe Anual Proyecto Macrorregional.
- 11- DAVIES, P., A. DILLON y D. G. MÉNDEZ. 2001. Control del empaste en invernada. Publicación Técnica N° 34. EEA Gral. Villegas.
- 12- FAY, J. P., G. L. MICHEO, G. SANTUCHO y A. GARCIA ASTRADA. 1986. Effect of fasting on digestion of white clover leaflets by rumen microorganisms and possible implications in cattle bloat. *J. of Veterinary Medicine* 23: 781-787.
- 13- GUAITA, M. S. y M. GALLARDO. 1997. Utilización de la alfalfa en las unidades intensivas de producción de leche de la EEA Rafaela. Información técnica para productores 1995-1996. Publicación miscelánea N° 82, EEA INTA Rafaela.
- 14- HOWARTH, R. E. 1975. A review of bloat in cattle. *Can. Vet. J.* 16 (10): 281-294.
- 15- HOWARTH, R. E. and G. W. HORN. 1984. Wheat pasture bloat of stocker cattle: a comparison with legume pasture bloat. *In: G. W. Horn (ed) Proceedings of the Nat. Wheat Pasture Symposium*. Animal Sci. Dept., Oklahoma State University, Stillwater, OK, USA.
- 16- HOWARTH, R. E., K. J. CHENG, J. P. FAY, W. MAJAK, G. L. LEES, B. P. GOPLEN and J. W. COSTERTON. 1983. Initial rate of digestion and legume pasture bloat. *Proceedings XIV Int. Grassl. Cong.*, Westview Press, Boulder, Co., U.S.A.

- 17- HOWARTH, R. E., K. J. CHENG, W. MAJAK and J. W. COSTERTON. 1986. Ruminant bloat. *In*: Milligan, L.P., W. L. Grovum and A. Dobson (ed.) Control of digestion and metabolism in ruminants. Englewood Cliffs, U.S.A.
- 18- LABY, R. H. 1991. Bloat: Its etiology and significance to the Australian dairy industry. *In*: Dairy Research and Development Corporation (DRDC) (ed.) Bloat / DRDC Bloat Workshop. Ellinbank, Australia, Agosto 5-6.
- 19- LATIMORI, N. J., A. M. KLOSTER y M. A. AMIGONE. 1995. Evaluación de algunas técnicas actualmente disponibles para el control del meteorismo. *In*: Meteorismo bovino. Jornada de Actualización para Productores y Profesionales. Octubre 26, EEA INTA Marcos Juárez.
- 20- LATIMORI, N. J., A. M. KLOSTER, M. A. AMIGONE, L. CUERPO y A. PIZZU. 1992. Marchitamiento con paraquat en el control de meteorismo: efecto sobre la ganancia de peso y residuos en tejido animal. *Revista Argentina de Producción Animal* 12: 217-222.
- 21- LOWE, L. B. 1991. Monensin controlled-release anti-bloat capsule. *In*: Dairy Research and Development Corporation (DRDC) (ed.) Bloat / DRDC Bloat Workshop. Ellinbank, Australia, Agosto 5-6.
- 22- MAJAK, W., J. W. HALLI and W. P. Mc CAUGHEY. 1995. Pasture management strategies for reducing the risk of legume bloat in cattle. *J. Anim. Sci.* 73: 1493-1498.
- 23- MORRIS, C. A, 1991. The genetics of susceptibility to bloat in cattle. *In*: Dairy Research and Development Corporation (DRDC) (ed.) Bloat / DRDC Bloat Workshop. Ellinbank, Australia, Agosto 5-6.
- 24- SANDERSON, M. A. and W. F. WEDIN. 1989. Phenological stage and herbage quality relationships in temperate grasses and legumes. *Agron. J.* 81: 864-869.
- 25- WALGENBACH, R. P., G. C. MARTEN and G. R. BLAKE. 1981. Release of soluble protein and nitrogen in alfalfa. I. Influence of growth temperature and soil moisture. *Crop Sci.* 21: 843-849.

## Producción de semilla de alfalfa

*Ing. Agr. Carlos J. Moschetti,*

*BAG Enrique M. Martínez*

EEA Hilario Ascasubi-INTA

*Ing. Agr. (MSc) Eduardo M. Echeverría*

AproAgro-SanCor

*Ing. Agr. Leandro M. Ávalos*

Asesor Privado-Hilario Ascasubi



## Introducción

En muchas zonas de la Argentina, la producción de semilla de alfalfa -por ser uno de los subproductos de la producción de forraje- ha sido de importancia secundaria. En consecuencia, el mercado nacional se abastece en forma irregular de una producción de semillas aleatoria, de bajos rendimientos y de usualmente baja calidad. La mayoría de las áreas donde la alfalfa puede ser cultivada con éxito para la obtención de forraje no son precisamente las adecuadas para una eficiente producción de semilla.

Durante años, la producción de semilla como tal no fue comprendida en su totalidad. En las últimas dos décadas, las investigaciones y experiencias realizadas han permitido identificar los factores más relevantes que influyen en sus rendimientos. Esta situación, junto al desarrollo de un importante mercado demandante de semilla de calidad y de cultivares reconocidos, determinan que el país necesite imperiosamente contar con una industria especializada en este rubro, que acompañe a su vez el desarrollo de la actividad pecuaria.

Tanto las diferencias en clima y suelo como las variaciones en infraestructura y tradiciones agropecuarias que se presentan en nuestro país, requieren la aplicación de sistemas de producción de semilla adaptados a cada situación específica. A lo largo de este capítulo se discutirán los conceptos técnicos básicos que deben tenerse en cuenta para una adecuada producción de semilla de alfalfa, los que en muchos casos deberán ajustarse a las particularidades zonales o regionales.

## La producción de semilla como industria especializada

Cuando se desean rendimientos altos, la producción de semilla debe considerarse como una industria especializada, separada totalmente de la producción de forraje (93). En este sentido, el análisis de la evolución de la industria semillera de alfalfa en EE.UU. puede resultar interesante para una mejor comprensión del problema.

Antes de la década de 1940, el 80% de la semilla estadounidense se producía en regiones subhúmedas y semiáridas que, como subproducto del heno, coincidían con las áreas de producción y consumo de forraje. Durante esta etapa, la oferta de semilla estuvo sujeta a la demanda de forraje, a la ocurrencia de condiciones climáticas favorables para la producción de semilla, al ataque de insectos perjudiciales y a la ausencia de un sistema de mercado organizado. Entre 1940 y 1958, los aportes de la investigación y de los programas de mejoramiento originaron nuevas variedades y prácticas de manejo, lo que incrementó la producción forrajera y generó una mayor demanda de semilla de calidad genética y física. Una abrupta transformación se inició en 1945, cuando los productores de California, Nevada, Oregon, Idaho y Washington, concentrados en áreas ecológicamente aptas, comenzaron a especializarse en la producción de semilla de alfalfa. El grado de evolución que alcanzaron fue tal que en 1975 ya producían el 85% del mercado nacional. Todo esto fue consecuencia de la introducción de nuevas variedades, del desarrollo de novedosas y específicas tecnologías en el manejo de los cultivos -principalmente el uso de polinizadores- y de la organización de los productores en compañías capaces de procesar y comercializar sus semillas (68, 70, 95, 117, 135).

En la Argentina, la existencia de un mercado que consume más de 7.000 tn año<sup>-1</sup> de semilla de alfalfa -cuyo 75% proviene de la importación- indica claramente que el desarrollo de una industria especializada no sólo es posible sino también necesaria. Esta



actividad, al exigir una tecnología específica y compleja, requiere de productores capaces de asumir el adecuado grado de compromiso y dedicación. Durante los últimos años, no obstante la información técnica disponible, las normas legales vigentes y la aparente mayor selectividad de la demanda, la semilla producida en el país se ha caracterizado por presentar serias deficiencias en cantidad y calidad (23, 30).

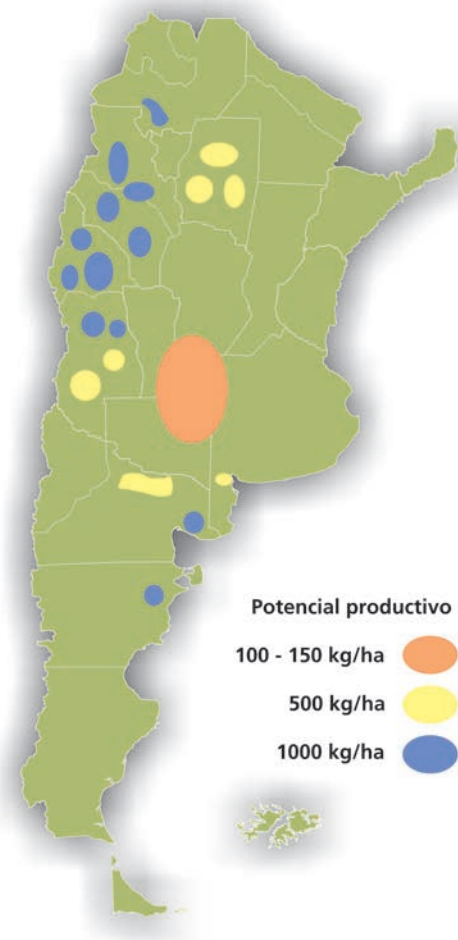
## Áreas de producción en la Argentina

Tradicionalmente, más del 50-60% de la superficie nacional dedicada a producción de semilla de alfalfa se ha ubicado en áreas de secano, como alternativa de la producción de forraje. En ese marco, los rendimientos han sido muy bajos y la calidad de la semilla generalmente pobre.

En la Argentina, la superficie cultivada con alfalfa -tanto en pasturas mono como polifíticas- asciende actualmente a cerca de 5,5 millones de hectáreas. Las necesidades anuales de semilla se estiman en función de la tasa de renovación anual de las pasturas y de la densidad de siembra utilizada en cada área. Durante el período 1996-2005, los volúmenes de importación de semilla promediaron las 6.000 tn año<sup>-1</sup>, mientras que la media de producción nacional de semilla fiscalizada rondó las 1.400 tn año<sup>-1</sup> (124).

La creciente demanda de semilla de cultivares reconocidos que se ha observado desde mediados de la década de 1990 no constituye, por sí sola, un factor determinante para el desarrollo de una industria eficiente en aquellas áreas con elevado potencial productivo (70). El país ofrece posibilidades muy variables, condicionadas no sólo por el suelo y el clima sino también por muchos otros factores: la polinización, el manejo del cultivo, las prácticas de cosecha, la disponibilidad y el manejo del agua de riego, la carencia o no de infraestructura adecuada, etc. (23). En la Figura 1 se identifican las áreas productoras de semilla en el país, indicando en cada una el potencial productivo que podría esperarse.

Como queda claro, las mayores rendimientos pueden esperarse en las zonas áridas bajo riego y con ausencia de precipitaciones estivales. Una consideración detallada de cada provincia, y aún de zonas determinadas dentro de algunas de ellas, señala que es posible encontrar áreas de producción que se destacan por su mayor potencial (95): más de 500 kg ha<sup>-1</sup> en Catamarca (1), San Juan (37, 38), Santiago del Estero, Salta y La Rioja (116); alrededor de 400 kg ha<sup>-1</sup> en Mendoza, Choele Choel y el Valle Inferior del Río Colorado; y cerca de 300 kg ha<sup>-1</sup> en San Rafael (95).



**FIGURA 1:** Ubicación y rendimientos potenciales de las áreas productoras de semilla de alfalfa en la Argentina

Sin embargo, cuando se comparan estos valores con los 150 kg ha<sup>-1</sup> de promedio real que actualmente se obtienen en el país, se concluye que la brecha a corregir es muy amplia. En San Juan, por ejemplo, ha sido posible obtener producciones de 1.000 kg ha<sup>-1</sup> a nivel de fincas comerciales, y rendimientos de 500 kg ha<sup>-1</sup> son relativamente fáciles de conseguir si se siguen ciertas pautas de manejo y se aplica la tecnología disponible; no obstante, los rendimientos promedio de la provincia no superan los 220 kg ha<sup>-1</sup> (38, 39).

Las diferencias significativas entre los rendimientos potenciales y los reales se pueden explicar por el mal manejo de muchos de los factores que afectan la producción de semilla. Exceptuando las condiciones climáticas, el productor de semilla puede controlar, en gran medida, muchos de los factores biofísicos (biológicos y de manejo) y socioeconómicos. Entre los primeros, pueden citarse como ejemplos la implantación de una variedad mejorada y de buena aptitud semillera, el adecuado control de malezas e insectos perjudiciales, la disponibilidad y el manejo de polinizadores (abejas melíferas y/o megachiles y/o polinizadores naturales), el manejo adecuado del suelo y del riego, la utilización de maquinaria apropiada, la oportuna realización de las labores culturales, etc. Entre los segundos pueden incluirse el desconocimiento del manejo ideal del cultivo, la ausencia de especialización (tradición y actitud mental) en la producción semillera, la carencia de insumos (herbicidas, insecticidas, desecantes, etc.) y de maquinaria apropiada en los momentos precisos, la falta de definición acerca del sistema integrado de producción más conveniente a cada realidad, la inestabilidad en la oferta de semilla, etcétera.

Para muchos de los factores arriba mencionados el país ya cuenta con suficiente información y experiencia sobre su empleo exitoso a nivel de productor. Para otros, si bien se dispone de información calificada sobre su uso, aún no se ha logrado una difusión masiva. Tal es el caso de la polinización con megachiles, donde el alto costo de implementación y el requerimiento de un manejo especializado han dificultado su adopción; aún así, se han desarrollado servicios de polinización con este insecto en el Valle Inferior del Río Colorado.

## Requerimientos climáticos

El clima determina la distribución exitosa de la producción comercial de semilla de alfalfa en las diferentes regiones del mundo, y es el factor más importante para definir la potencialidad de rendimiento de una zona (32, 95). En ese sentido, mientras que la disponibilidad de riego y de un verano seco, con días calurosos y soleados, inciden positivamente en la producción de semilla, las precipitaciones estivales la reducen seriamente (127). Las condiciones climáticas que favorecen la producción de semilla son: a) un período de crecimiento de por lo menos 150 días de duración; b) temperaturas promedio de 24-25° C día / > 18° C noche a lo largo del período de floración; c) aire relativamente seco (< 50% de HR), tanto en el día como en la noche, durante el momento de floración; d) alta heliofanía y ausencia de vientos fuertes durante la floración, con un mínimo de días nublados y frescos; e) días largos, con un mínimo de 14 horas de luz; y f) una distribución de lluvias o riegos que provea de la adecuada humedad al suelo para promover un crecimiento vegetativo temprano y una reducción gradual de la humedad edáfica a partir del momento de la floración.

Estas características rigen la producción en regiones áridas y semiáridas, donde se alcanzan los rendimientos promedio más altos y se concentra la producción comercial de semilla de alfalfa en el mundo (95). Por el contrario, en zonas con alta humedad

atmosférica y lluvias frecuentes en los períodos de maduración y cosecha, se obtienen rendimientos bajos, del orden de 50 a 150 kg ha<sup>-1</sup>. En climas áridos, donde se puede controlar el riego, la producción puede llegar a 1.000 kg ha<sup>-1</sup> o aún más; en zonas semiáridas, con lluvias en la época de cosecha, los rendimientos son significativamente más bajos (37, 95). Es interesante mencionar que una lluvia de tan sólo 5 mm puede provocar la dehiscencia de las vainas y ocasionar pérdidas de semilla de cierta magnitud, y que lluvias de 10 a 20 mm pueden producir pérdidas importantes, de hasta el 75%, si la semilla está seca y lista para ser cosechada (92, 93).

Si bien la alfalfa es una especie de día largo, no es completamente sensible al fotoperíodo, existiendo considerables diferencias entre genotipos. La respuesta a la longitud del día también está influenciada por la radiación y la temperatura (42). En líneas generales, la formación de flores es favorecida por un mínimo de 12 hs de luz, con alta intensidad luminosa y temperaturas mínimas por encima de 20° C (42, 59, 95). La duración del día afecta el número de días entre floraciones sucesivas, decreciendo de 38 a 28 y de 28 a 24 días con un incremento de la duración de luz de 12 a 14 y de 14 a 16 horas, respectivamente (95). La luz y la temperatura condicionan no sólo el desarrollo de las inflorescencias y la fertilidad del polen y de los óvulos, sino también la actividad de los polinizadores, la fecundación y el desarrollo embionario, y el crecimiento y la maduración de las vainas (59). Hely y col.(66) observaron que en algunos genotipos el aumento de temperatura y la disminución de la humedad relativa incrementaban el desenlace floral. Por otro lado, las altas temperaturas durante el desarrollo seminal aumentan la proporción de semillas duras y podrían afectar también su vigor (42). Situaciones climáticas extremas, como por ejemplo el cálido y rigurosamente seco viento zonda en San Juan y Mendoza, pueden afectar enormemente los procesos de floración.

Se debe tener en cuenta que si el ambiente favorece el crecimiento vegetativo de la alfalfa, y no se alcanzan las condiciones para la iniciación del crecimiento reproductivo, tanto la formación de flores como la producción de semilla se verán reducidas. No debe olvidarse que, en condiciones de campo, las plantas de alfalfa no se transforman de completamente vegetativas en completamente reproductivas, sino que ambos estados se desarrollan en forma conjunta (95).

## Requerimientos de suelo

La alfalfa se adapta a un amplio rango de condiciones climáticas y tiene una considerable tolerancia a la sequía, al frío y a cierto grado de salinidad (95). No obstante, para alcanzar un óptimo de producción, requiere suelos bien drenados, con bajo contenido de álcalis y sales solubles, y de una profundidad de más de 1 m. La falta de drenaje y el exceso de humedad en el perfil son considerados factores adversos para la producción de semilla, dado que no sólo favorecen el excesivo desarrollo vegetativo, sino que también pueden producir la muerte de plantas por asfixia radicular y/o desarrollo de enfermedades de raíz (21). La salinidad es un problema en muchas de las áreas productoras de semilla bajo riego. Durante sus primeros estados de crecimiento, la alfalfa es tolerante a una moderada concentración de sales en el suelo; posteriormente, a medida que completa su desarrollo, su tolerancia a los cloruros aumenta (136).

Por su mejor capacidad de retención de agua, son preferibles los suelos arcillosos, arcillo-limosos o franco-arcillo-limosos a los arenosos. Se deben evitar suelos extremadamente arenosos o gravillosos y los que poseen una capa arcillosa endurecida a poca profundidad (92, 95). Una textura uniforme en todo el perfil permitirá asegurar una

retención equilibrada de humedad, lo que favorece un activo crecimiento de las plantas durante un largo período y un secado rápido y uniforme antes de la cosecha (92, 95, 128).

La producción de semilla en predios escasamente irrigados puede tener éxito si los suelos están bien aireados y tienen por lo menos 1 m de profundidad, la napa freática no es fluctuante, y se presta especial cuidado en incrementar la eficiencia de las prácticas de riego y manejo (92, 95, 128). En San Juan se obtuvieron rendimientos de 1.100 kg ha<sup>-1</sup> en suelos franco-arenosos, bien drenados y con una napa freática estable a una profundidad de 1,80 a 2,00 m. En esos casos, una vez establecido el cultivo, son suficientes 4 a 5 riegos en el año de implantación, sin requerimientos adicionales durante el ciclo, dado que las raíces extraen sus requerimientos de agua de la napa. En igual sentido, Brase (17) también informó acerca de los buenos niveles de producción de semilla obtenidos en California sobre suelos con napa freática a 1,80 m y con manejos muy cuidadosos del riego y del cultivo.

La producción de semilla de alfalfa también puede hacerse bajo condiciones de secano, aunque los rendimientos son usualmente menores a los de las áreas regadas. La producción en secano requiere de suelos profundos (2 m) y con alta capacidad de retención de humedad, y de precipitaciones anuales por encima de los 300-380 mm (93, 95, 128).

## Establecimiento del cultivo

### Elección y preparación del suelo

El primer criterio para la elección del lote a sembrar se basa en las características edáficas, que -en la medida de lo posible- deben aproximarse al ideal descrito en la sección anterior; en ese contexto, deben descartarse aquellos lotes que presenten serios problemas de suelo. En segundo lugar deben considerarse la presencia de malezas problemáticas, como la cuscuta (*Cuscuta* sp.), el gramón (*Cynodon dactylon* L.), el pasto puna (*Stipa brachychaeta* G.), el sorgo de alepo (*Sorghum halepense* L.), la enredadera (*Polygonum convolvulus* L.), el trébol de olor (*Melilotus* sp.), etc. La presencia importante de alguna de estas malezas, como la cuscuta, debería ser motivo suficiente para buscar otro lote; en otros casos, como la invasión de sorgo de alepo, se puede efectuar un eficiente control antes de la siembra.

El concepto del «aislamiento», distancia o separación de otros cultivos de alfalfa, es otro factor importante a considerar, debiendo armonizarse con los lotes de multiplicadores vecinos a fin de evitar problemas de contaminación. Para más detalles, se sugiere consultar la sección Normas de Fiscalización para la Producción de Semilla de Alfalfa en este mismo capítulo.

Las prácticas de preparación de suelo deben ofrecer una cama de siembra fina y firme, y deben hacerse con la suficiente antelación como para posibilitar un barbecho apropiado. Las capas de suelo duro que pudieren existir (pisos de arado, horizontes densificados, etc.) deben destruirse con labores profundas antes de iniciar la preparación definitiva.

En áreas bajo riego, la adecuada sistematización del lote es de enorme relevancia. Una pendiente de alrededor de 0,2-0,52% facilitará la uniforme distribución del agua e impedirá el encharcamiento. La pendiente debe definirse en función del relieve, la textura y profundidad del suelo y la longitud de la unidad de riego. Riegos con 0% de pendiente pueden dificultar la aplicación de una lámina baja a intervalos cortos o favorecer el encharcamiento en suelos pesados.



## Época de siembra

En la mayoría de las zonas aptas para la producción de semilla, la época de siembra apropiada es el otoño: fines de febrero-principios de abril en el Valle Inferior del Río Colorado (32), mediados de marzo-fines de abril en el Valle de Tulum (San Juan) y fines de marzo-fines de mayo en Santiago del Estero (116). En las zonas de temperaturas muy bajas en el invierno, como los valles precordilleranos de San Juan y Mendoza, la siembra debe efectuarse a fines del verano o bien demorarse hasta la primavera, cuando el peligro de heladas severas haya pasado.

Un cultivo sembrado temprano en el otoño podrá producir semilla en el año de implantación, con rendimientos similares a los de años posteriores, con el cultivo ya establecido (127). Por el contrario, las siembras de primavera producirán cultivos de bajos rendimientos en el año de implantación; por ello, esta práctica se recomienda únicamente para las áreas donde las malezas de invierno ofrecen excesiva competencia, las temperaturas invernales permanecen bajo cero durante períodos prolongados o las excesivas lluvias invernales dificultan el establecimiento del cultivo (16, 83, 84, 92, 93).

## Densidad de siembra

Las dosis de semilla utilizadas en semilleros de alfalfa deben ser considerablemente más bajas que las empleadas en siembras para la producción de forraje. Existe abundante bibliografía, especialmente estadounidense, que demuestra la ventaja de usar bajas densidades de siembra en los cultivos destinados a la producción de semilla. En Utah se demostró la conveniencia de usar  $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$  respecto de densidades superiores a  $13 \text{ kg ha}^{-1}$ , con distancias entre hileras de 0,20, 0,60 y 1,20 m (120). En California, las densidades más usuales varían entre 0,3 y  $2 \text{ kg ha}^{-1}$ ; además, se utilizan sembradoras de precisión que permiten depositar 3 a 4 semillas cada 0,15 ó 0,30 m en hileras distanciadas a 0,75-1,0 m (94). En Washington, una adecuada densidad de plantas fue obtenida con densidades de siembra de 0,5 a  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  y Rincker y col.(127) señalaron que con densidades de 0,25 a  $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$  se obtuvieron rendimientos por encima de  $1.000 \text{ kg ha}^{-1}$ . En nuestro país, en las zonas de riego de Cuyo y del NOA, se recomienda sembrar no más de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  en hileras distanciadas 0,70-1 m, dependiendo fundamentalmente del tipo de sembradora a utilizar. En el Valle Inferior del Río Colorado, la densidad de siembra aconsejada es de 1-2  $\text{kg ha}^{-1}$  en hileras separadas a 0,50-0,75 m (Figura 2) (32, 109).

Las densidades de siembra de 0,5 a  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  son suficientes para establecer entre 5 y 10 plantas cada 0,30 m de hilera, cuando las hileras están distanciadas entre sí a 0,90-1 m (92). Si bien la mayoría de las sembradoras comunes pueden ser modificadas para sembrar bajas densidades, es más recomendable la utilización de sembradoras de precisión (tipo *Stanhay*, *Planet*, etc.). La siembra puede hacerse con sistema de camellones (o surcos) o con sistema plano, dependiendo la elección de cada uno de las características del suelo, del tipo de sembradora a utilizar y del sistema de riego disponible.



FIGURA 2: Siembra de alfalfa con sembradora de precisión.

La profundidad óptima de siembra no debe exceder los 1,5-2 cm de profundidad en suelos franco-arenosos y los 0,6-1,5 cm en suelos francos o franco-arcillosos. A profundidades de 2,5 a 3,5 cm la emergencia se reduce significativamente, y es casi nula a partir de los 5 cm (134). La siembra profunda incrementa el número de días hasta la emergencia, lo que aumenta los riesgos de pérdida de plantas por tiempo desfavorable, invasión de malezas y/o planchado de suelo (93, 95).

Son conocidos los beneficios aportados por una eficiente nodulación en alfalfa (153), por lo que es recomendable la inoculación de la semilla con el rizobio específico (*Sinorhizobium meliloti*). En los últimos años se ha convertido en una práctica usual que los criaderos y semilleros ofrezcan sus semillas «pelleteadas» o recubiertas, lo que ofrece las siguientes ventajas: a) cantidad apropiada de la cepa de rizobio; b) protección contra hongos patógenos en las primeras etapas del desarrollo del cultivo; c) aporte equilibrado de nutrientes y pH para el desarrollo temprano del rizobio y la plántula; y d) protección de la semilla frente a posibles daños mecánicos durante su manipulación y siembra (150).

### **Siembras densas versus hileras distanciadas**

Los agricultores de las zonas semiáridas y de secano, que cultivan alfalfa con el doble propósito de producir forraje y semilla, utilizan principalmente el sistema de siembra al voleo y un alto número de plantas m<sup>2</sup>. Para esas condiciones, el reemplazo de la siembra al voleo por la siembra en líneas distanciadas a 0,35-0,70 m podría -en determinadas situaciones- incrementar los rendimientos y la calidad de la semilla de alfalfa (154).

La investigación y la experiencia en áreas bajo riego han demostrado que las siembras en hileras distanciadas producen mayores rendimientos de semilla que las siembras densas usadas para la producción de forraje (51, 52, 65, 76, 83). En diferentes zonas de EE.UU., Europa y México se han registrado incrementos de rendimiento de semilla de 120% en cultivos sembrados en hileras respecto de los sembrados al voleo (93).

La mayor producción de semilla de las siembras en líneas puede ser atribuida a diversos cambios fisiológicos y morfológicos que ocurren en la planta (83). Algunos autores determinaron que los menores rendimientos de los cultivos densos se deben a la más baja producción de néctar y a la menor atracción de sus flores y a su mayor índice de abortos florales (60, 93, 128). Como contrapartida, entre las ventajas de las siembras en hileras distanciadas se pueden mencionar las siguientes (92, 94, 127): a) plantas de porte más erecto y de crecimiento más abierto, que no sólo facilitan el acceso a las flores por parte de los polinizadores sino que también permiten una mayor penetración de la luz y un aumento de la temperatura del suelo; b) disminución del vuelco y reducción de la humedad en la canopia de la planta, que disminuye la incidencia de las enfermedades de hoja y el manchado o «ardido» de las semillas; c) reducción de la caída de flores y vainas; d) aumento de la penetración de los productos químicos para el control de malezas e insectos y del defoliante para la cosecha directa; e) incremento de los márgenes de flexibilidad para el manejo de los riegos y el control de malezas, y f) mejor control de las plantas de resiembra natural, lo que contribuye a asegurar la identidad genética y la pureza varietal del producto.

### **Distancia entre hileras**

La distancia entre las hileras depende principalmente del tamaño de planta que se puede lograr, y éste, a su vez, depende de la profundidad, textura y salinidad del suelo, de la cantidad de agua disponible, de la longitud de la estación de crecimiento, del grado de reposo invernal del cultivar, de la maquinaria disponible para la realización de los trabajos culturales entre hileras (trocha de tractor, tipo de cultivador, etc.) y de la



interacción de todos estos factores. En general, las plantas pequeñas requieren un menor distanciamiento entre hileras y viceversa. Resumiendo una importante cantidad de observaciones realizadas en varios ambientes, se puede concluir que el distanciamiento óptimo en suelos arcillo-limosos es de 0,90-1 m para áreas con períodos de crecimiento largos y de 0,70-0,80 m para áreas con períodos de crecimiento cortos; y en suelos arenosos y profundos, donde las plantas son más vigorosas y de mayor tamaño, la distancia óptima entre hileras es de 1-1,5 m (92). En cualquier caso, el espacio entre las líneas de un mismo cultivo debe ser uniforme para no ocasionar dificultades en las labores de labranza que se ejecuten posteriormente durante el ciclo del cultivo.

En Prosser, Washington (EE.UU.), se obtuvieron rendimientos mayores a 1.000 kg ha<sup>-1</sup> con distancias entre hileras de 0,45, 0,56 y 0,91 m. Es interesante notar que las menores distancias produjeron altos rendimientos en el año de implantación, pero no en los posteriores (128). En los sistemas de producción bajo riego de Catamarca, San Juan y Mendoza, las distancias entre líneas más empleadas oscilan entre 0,8 y 1 m, ya que distancias menores suelen producir problemas en el manejo de los cultivos. En el área de riego del Valle Inferior del Río Colorado se emplean distanciamientos de 0,50-0,75 m.

### **Distancia en la hilera. Raleo**

La distancia entre plantas dentro de la hilera está directamente relacionada con el tipo de máquina sembradora utilizada. Cuando no es posible una siembra de precisión, puede hacerse necesario la eliminación de plantas en la hilera para que, una vez establecido el cultivo, se provea de la necesaria baja densidad de plantas a que se hacía referencia en secciones anteriores. Por el contrario, si se usan sembradoras de precisión, que permiten depositar de 4 a 5 semillas cada 0,20 ó 0,30 m de hilera, la práctica del raleo no es necesaria. En esos casos es más común referirse a «grupos de plantas» que a «plantas individuales».

Hay muchos trabajos que demuestran que el raleo es una práctica beneficiosa para la producción de semilla. Algunos autores mencionan la conveniencia de contar con 17.500 a 55.000 grupos de plantas hectárea<sup>-1</sup>, siendo cada grupo de 0,15 m de largo y separado del siguiente por 0,30 m (76, 94, 120, 126). Dovrat y col.(33) concluyeron que los rendimientos de semilla fueron considerablemente mayores en alfalfas con una adecuada distancia entre y dentro de las hileras. Respecto de los cultivos con alta densidad en la hilera, los cultivos ralos tuvieron mayor número de tallos reproductivos, de inflorescencias tallo<sup>-1</sup> y de vainas inflorescencia<sup>-1</sup>. En experiencias realizadas en Italia, los rendimientos de semilla disminuyeron en el primer año de producción a medida que aumentó el número de semillas sembradas metro<sup>-1</sup>, lo que fue atribuido a la competencia entre plantas (90). Jones y Pomeroy (76) demostraron que el raleo tuvo efectos positivos no sólo en el año de implantación sino también en el segundo y en el tercer año de producción. También el raleo permite, en cultivos establecidos, eliminar las malezas y las plantas de resiembra que se desarrollan entre las plantas.

El raleo en la hilera produce en la planta los mismos cambios morfológicos y fisiológicos que los señalados cuando se compararon la siembra en hileras distanciadas y las densas (92). En siembras densas, el raleo es aconsejable cuando las plantas tienen de 2 a 4 hojas (94, 133), pudiendo realizarse en forma mecánica con una labranza cruzada (45° ó 90°) a las líneas de siembra y utilizando un cultivador, cincel, azadón o rastra de discos; también puede realizarse en forma manual. La agresividad del raleo requerida para incrementar rendimientos dependerá de la distancia entre hileras y de los años del cultivo. Por ejemplo: si se consigue una separación variable entre coronas dentro de la

hilera de 0,15 a 0,45 m, pero la distancia entre hileras es considerable, se podrían aumentar las posibilidades de vuelco, de pérdidas de semilla por manchado o de invasión de malezas, y/o se podría dificultar la cosecha.

### **Cultivos acompañantes**

En algunas zonas con condiciones ambientales rigurosas, la siembra alfalfa suele hacerse en combinación con cereales de invierno como cultivos acompañantes, que además de proteger a las plántulas de la acción del viento y del frío tienen por objetivos controlar las malezas y ofrecer un retorno económico relativamente inmediato. Sin embargo, en los lotes especializados para la producción de semilla de alfalfa, tanto en áreas de secano como bajo riego, los cultivos acompañantes no se recomiendan, porque ocasionan mermas significativas en los rendimientos del primer año del cultivo y dificultan su manejo (120, 127).

### **Fertilización**

No se conocen experiencias en el país referidas a resultados de fertilizaciones en cultivos de alfalfa para la producción de semilla. Si se detectaran en el lote elegido para la implantación de cultivo serias deficiencias de nutrientes, éstas deberían corregirse antes de la siembra. Para ello, se sugiere consultar el capítulo 11 de esta publicación.

Las aplicaciones de fertilizantes realizadas en el momento del establecimiento del cultivo en las áreas más importantes de producción de semilla de los EE.UU. y Canadá no se tradujeron en incrementos de rendimiento, excepto en los casos en que los suelos presentaban serias deficiencias nutricionales. La aplicación a la siembra de nitrógeno y fósforo, en dosis de 15 a 20 kg ha<sup>-1</sup> en cada caso, fue beneficiosa para la implantación del cultivo pero no tuvo incidencia directa en los rendimientos de semilla (76, 127). Las aplicaciones foliares de nutrientes no produjeron incrementos en los rendimientos, con la sola excepción del boro en ciertas áreas (128).

### **Riego del cultivo**

La cantidad y los momentos de aplicación del riego constituyen una de las prácticas más difíciles de manejar en la producción de semilla de alfalfa. El exceso de agua causa el desmedido desarrollo vegetativo y un aumento en el vuelco de las plantas, una pobre producción de flores y un ambiente no demasiado atractivo para los polinizadores. La excesiva deficiencia de agua origina plantas con muy poco desarrollo vegetativo, pobre producción de flores y semillas muy pequeñas.

El manejo del agua de riego se basa en una serie de principios fundamentales que deben adaptarse a las situaciones particulares que producen en las distintas áreas productoras. Entre los elementos más importantes que afectan las necesidades de agua de riego pueden enumerarse a la variabilidad de los suelos (profundidad y textura), las precipitaciones, la evaporación, los diferentes sistemas de riego, la cantidad y la calidad del agua disponible, la rotación con otros cultivos, el grado de reposo del cultivar y la duración del cultivo (94, 95, 125, 127, 133, 151). La producción exitosa de semilla estará dada por la forma en que cada una de estas variables interacciona dentro del sistema de manejo; no obstante, esas interacciones sólo son válidas y aplicables para una situación específica y para un determinado productor. En consecuencia, la diversidad de condiciones presentes en el país hace casi imposible definir un esquema de riego de aplicación general.

En la enorme mayoría de las áreas de riego de la Argentina, la distribución del agua de riego es superficial, por surco o inundación. En ese contexto, la adecuada sistematización del suelo adquiere una gran relevancia y el diseño de un apropiado sistema de riego debe ser una de las primeras consideraciones a tener en cuenta una vez elegido el lote. Una mala sistematización del riego no puede ser compensada por otras prácticas de manejo. Si se tiene una correcta sistematización del terreno, el uso de sifones portátiles de PVC permite uniformizar el caudal de agua a aplicar en cada surco de riego (Figura 3).

El riego por aspersion podría ser una alternativa válida en suelos arenosos y aplicado durante la noche en momentos críticos del cultivo (60, 128). En Idaho, Oregon y Washington (EE.UU.) es utilizado con éxito por los productores de semilla de alfalfa. Sin embargo, en el Valle Imperial de California, EE.UU., el riego por aspersion influyó negativamente en los rendimientos de semilla, probablemente debido a un efecto adverso

sobre las abejas que resintió la polinización.



**FIGURA 3** – Empleo de sifones de PVC para el riego por surco de un cultivo de alfalfa para la producción de semilla.

En los últimos años se ha empleado con éxito en nuestro país la tecnología del riego por goteo, con el que se han obtenido hasta 1.400 kg ha<sup>-1</sup> en producciones comerciales de San Juan (Figura 4). Respecto de los otros sistemas, el riego por goteo ofrece las siguientes ventajas: alta eficiencia de uso y distribución uniforme del agua; menor incidencia de malezas; mayor eficiencia y facilidad de aplicación de herbicidas, insecticidas y fertilizantes; considerable disminución del número de labores culturales

entre hileras; incorporación de lotes marginales, sin trabajos de sistematización, y disminución de requerimientos de mano de obra. Todos estas ventajas son importantes cuando el objetivo es obtener una alta producción de semilla de excelente calidad. No obstante, su principal inconveniente es el alto costo inicial de equipos y de instalación, cosa que -por otro lado- puede verse atenuada por los altos rendimientos de semilla que produce y por la disminución o eliminación de otros costos (sistematización del terreno, mano de obra, pulverizaciones, etc.). De cualquier modo, por tratarse de una tecnología nueva para la producción de semilla de alfalfa en nuestro país, se debe todavía generar la información necesaria que permita adecuar su uso a los requerimientos de cada situación.

### Manejo del riego

Cualquiera que sea el sistema de riego empleado, es fundamental que durante el establecimiento del cultivo se controle con frecuencia la humedad del suelo, cuidando de manera especial que las raicillas estén en permanente contacto con suelo húmedo. Contrariamente a lo que muchos productores efectúan, no es apropiado dejar que



**FIGURA 4** - Germinación de la alfalfa en un sistema de riego por goteo.

las plantas en sus primeros estadios de desarrollo sufran deficiencias de humedad. Durante la implantación, es aconsejable la realización de riegos cortos y frecuentes, a efectos de mantener un buen nivel de humedad en el área de exploración de las raíces y reponer solamente la humedad del suelo perdida por evaporación y transpiración. También las lluvias o los riegos de presiembra realizados para mojar el perfil del suelo, favorecen el desarrollo y establecimiento del cultivo.

Los mayores rendimientos de semilla se logran empleando prácticas de riego que tiendan a promover un crecimiento lento y continuo, sin estimular excesivamente el desarrollo vegetativo y evitando el estrés severo de humedad. La estimulación excesiva del desarrollo vegetativo afecta directamente los rendimientos de semilla, aumentando el vuelco y provocando un retardo y una disminución en la producción de flores. Una vegetación densa y tendida favorece la acción de insectos perjudiciales, al mismo tiempo que reduce la producción de flores, afecta el desarrollo de vainas y semillas y estimula el rebrote vegetativo (53, 93, 131, 147). El exceso de humedad reduce el contenido de azúcar en el néctar de las flores y las hace menos atractivas para los polinizadores (60, 93).

Durante el año de implantación, la demanda de agua del cultivo es de aproximadamente 900 mm en todo el ciclo, incluyendo la humedad almacenada en el suelo durante el ciclo precedente y la proveniente de los riegos de presiembra. Los cultivos establecidos, como norma general, deben recibir entre 1.100 y 1.200 mm de agua  $\text{ha}^{-1}$   $\text{año}^{-1}$ , sea en forma de riego o de lluvias (93, 95, 159). Los riegos combinados de otoño, invierno y principios de primavera deben mojar el perfil del suelo hasta los 3 a 4 m de profundidad y proveer del 50 al 60% de las exigencias totales del cultivo en suelos profundos y de textura mediana a pesada. Durante la temporada de desarrollo del cultivo, desde mediados de primavera a fines de verano, deberá cubrirse el resto de los requerimientos de acuerdo con las necesidades, tratando de promover un crecimiento lento y constante y evitando un estrés severo de humedad. Un drenaje apropiado es esencial para evitar las enfermedades de raíz (87) y el excesivo crecimiento vegetativo (93). Las plantas de alfalfa pueden llegar a morir después de estar en suelos saturados de humedad por más de 24 horas (41).

En suelos arenosos o pocos profundos, con poca capacidad de retención de agua, el concepto de acumular humedad en el perfil carece de validez. Por lo tanto, la realización de riegos regulares durante todo el ciclo del cultivo, incluyendo la floración, adquiere gran relevancia. La finalidad de esos riegos frecuentes es proveer el agua necesaria para satisfacer los requerimientos del cultivo en al menos los primeros 0,60 m de profundidad (85). En Australia, Taylor y Marble (146) obtuvieron rendimientos de 1.105  $\text{kg ha}^{-1}$  en suelos poco profundos cuando el cultivo fue regado cada vez que la evapotranspiración acumulada entre riegos alcanzaba los 75 mm; cuando se regó a una evapotranspiración acumulada de 300 mm en floración, aumentando en consecuencia el intervalo entre riegos, los rendimientos disminuyeron a 528  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Henderson y Yamada (67) determinaron que las producciones de forraje y de semilla estaban directamente relacionadas y que un moderado estrés no era beneficioso para la producción de semilla, ya que las plantas no sujetas a estrés presentaban más inflorescencias y más flores y, en consecuencia, más semilla. Taylor y col.(147), en Utah, demostraron que los riegos en floración reducían los rendimientos. En Fresno, California, se evidenció que los riegos durante la floración tenían un efecto negativo sobre la frecuencia de visitas de los polinizadores a las flores por un período de 3 a 6 días posteriores a la aplicación (92, 132). Contrariamente, experiencias realizadas en la Argentina, Australia, Canadá e Israel concluyeron que los riegos moderados durante la floración incrementaban los rendimientos de semilla (22, 48, 131, 147).



En California se han obtenido rendimientos de 1.050 kg ha<sup>-1</sup> con riegos por surco cada 7 días durante el período de crecimiento vegetativo de las plantas. Posteriormente, se emplearon intervalos más largos y un riego inmediatamente después de iniciada la floración, a fin de prevenir el marchitamiento y facilitar el llenado de la semilla (61, 147).

Algunos investigadores recomiendan el uso de tensiómetros para determinar el momento del riego (60, 62, 147), mientras que otros se basan en datos recogidos en tanques de evaporación para estimar el agua perdida y decidir así los momentos de riego (128). Por otro lado, los productores experimentados se guían por el color de la planta para determinar la necesidad de agua en el cultivo, atentos a que la alfalfa con deficiencias de humedad adquiere una tonalidad verde-azulada, que se torna más evidente durante el alba que en cualquier otro momento del día; en esta modalidad, el momento del riego es aquel en que los 10-12 cm del centro de cada hilera permanecen verdes y lozanos, mientras el resto de las plantas aparece de tono azulado (93). Sin embargo, con conocimientos básicos sobre el tipo de suelo y clima y la información del agua consumida por el cultivo, un productor podría fácilmente aplicar un esquema de riego más científico y ser capaz de anticiparse a las demandas del cultivo. Se han desarrollado programas de simulación computarizados que permiten definir calendarios de riego para muchos cultivos, incluyendo la alfalfa para producción de forraje; lamentablemente, no hay aún disponibles para producción de semilla.

Independientemente del sistema que se utilice para definir los calendarios de riego, la premisa fundamental debe ser evitar las deficiencias (estrés) hídricas severas. No obstante, existen interpretaciones diferentes de este concepto, que se reflejan en el manejo de los cultivos. Suele definirse erróneamente al estrés hídrico como la posibilidad que tienen las plantas de poder marchitarse, mostrar una cierta flacidez y permanecer así por largos períodos. No obstante, para diferenciar un estrés suave de uno severo se requiere experiencia. Un estrés severo y prolongado puede detener el crecimiento de los tallos, impedir la formación de nuevos tallos y provocar la caída de hojas y flores. Por el contrario, un estrés suave, apenas perceptible, induce a la producción de flores con mayor concentración de azúcares en el néctar, lo que –al hacerlas más atractivas para los polinizadores– permite lograr mayores rendimientos de semilla (42, 95).

## Control de malezas

El control de malezas en todo semillero de alfalfa debe ser permanente, desde antes del establecimiento del cultivo hasta el proceso final de limpieza y clasificación de la semilla. La presencia de malezas constituye un factor condicionante del cultivo, afectando de manera directa su rendimiento. Su efecto adverso se manifiesta en la reducción o pérdida de plantas de alfalfa, principalmente en los primeros estadios de desarrollo del cultivo; en la competencia por luz, agua y nutrientes; en la interferencia sobre la labor de los polinizadores; en la dificultad para las prácticas de cosecha, y en el aumento de los costos de producción y del trabajo y las pérdidas durante el procesamiento de la semilla (27, 31, 32, 44, 52). En cultivos ya establecidos e incluidos dentro de un programa de certificación, las plantas de alfalfa de resiembra o «voluntarias» también deben considerarse malezas y, como tales, deben ser controladas.

Es más sencillo y económico eliminar las malezas en el lote que hacerlo luego durante el procesamiento de la semilla cosechada. Si se permite a las malezas madurar y ser cosechadas junto con la alfalfa, indefectiblemente deberán ser eliminadas en el proceso de limpieza, lo que no sólo aumenta los costos sino que produce mermas de rendimien-

to. Las semillas de malezas más difíciles de separar de la semilla de alfalfa son las de sorgo de alepo, rúcula (*Eruca sativa* G.), yuyo colorado (*Amaranthus* sp.), roseta (*Cenchrus* sp.), lengua de vaca (*Rumex crispus* L.), cuscuta, porotillo (*Hoffmanseggia falcaria*) y tréboles de olor. La separación de muchas de ellas requiere el uso de máquinas adicionales a las comunes, incrementando los costos de limpieza y la pérdida de semilla apta de alfalfa, que puede llegar al 11% (128).

El problema de malezas que aparecen en diferentes etapas del cultivo debe solucionarse con un manejo racional, que utilice medidas de prevención y métodos de control tanto culturales como mecánicos, químicos y sus combinaciones. A continuación se presentarán algunas sugerencias para ello.

### Medidas de prevención

Dado que las malezas bien establecidas son difíciles de controlar, la mejor estrategia de manejo es anticiparse y prevenir los problemas que puedan ocasionar. En ese sentido, los factores a tener en cuenta son:

**Elección apropiada del lote:** En campos infestados con malezas perennes, como sorgo de alepo, gramón, cebollín (*Cyperus rotundus* L.), pasto puna, flor amarilla (*Diplotaxis tenuifolia* L.), sanguinaria (*Polygonum aviculare* L.) y yuyo sapo (*Wedelia glauca* H.) el control es más eficiente y económico realizado antes de la siembra. En lo posible, deben descartarse los lotes infestados con malezas problema, como la cuscuta (44).

**Preparación adecuada del terreno y de la cama de siembra:** La germinación rápida y uniforme de la semilla será estimulada por una cama de siembra bien preparada. Las labores anticipadas, realizadas adecuadamente, limpian al suelo de malezas y evitan interferencias en la implantación del cultivo (123). Un terreno bien nivelado y con un buen lecho de siembra es esencial para una distribución uniforme y eficiente del agua de riego, lo que aumenta y prolonga la acción de los herbicidas selectivos y facilita el uso apropiado de los implementos de labranza (43, 44).

**Elección correcta de la fecha de siembra:** Los lotes sembrados muy tarde en el verano pueden ser infestados por malezas estivales, mientras que los sembrados muy tarde en el otoño germinarán y crecerán más lentamente, permitiendo que las malezas de invierno desarrollen antes que el lote esté en condiciones de ser tratado con herbicidas. La siembra en fecha apropiada favorecerá un crecimiento competitivo del cultivo respecto de la invasión de malezas.

**Mantenimiento de la limpieza:** El control de malezas debe efectuarse no sólo en el lote de alfalfa sino también en sus alrededores, incluyendo los canales y las acequias de riego. Cuando se finaliza la cosecha de un lote, todos los equipos de labranza y trilla deben limpiarse cuidadosamente a fin de prevenir la infestación de otros lotes.

### Control cultural

La competencia que ejerce un cultivo sano y vigoroso puede minimizar el efecto de las malezas, y en algunos casos hasta prevenir la germinación de sus semillas. En ese contexto, todas aquellas prácticas de manejo que tiendan a promover el crecimiento de la alfalfa, incluyendo el control efectivo de insectos dañinos y la menor incidencia de enfermedades, pueden contribuir a controlar las malezas. Por otro lado, una efectiva implementación de los riegos favorece la acción de muchos herbicidas.



## Control mecánico

La eliminación de las malezas por medios mecánicos suele ser un método de control económico. El cultivo en hileras distanciadas facilita la utilización de implementos tales como la rastra de discos, el escardillo, los carpidores, los cultivadores rotativos, los vibrocultivadores, etc. (Figura 5). La labor entre hileras se realiza las veces que sea necesario, dejando sin cultivar una franja de 0,15 m a cada lado de la planta. Sin embargo, para decidir el momento y la frecuencia de las labores mecánicas, debe tenerse en cuenta el desarrollo de las plantas y el daño por pisoteo que se ocasiona al cultivo, que en algunos casos puede ser de consideración. Respecto de esto último, es conveniente que el tractor esté provisto de rodados angostos, para evitar el excesivo pisoteo de tallos y la compactación del suelo.

El cultivado mecánico entre hileras no sólo es útil para el control de malezas anuales, sino también para la eliminación de plantas de alfalfa de resiembra y para el mejoramiento de la infiltración del agua de riego en el perfil. En cultivos establecidos, y cuando la alfalfa está en estado de reposo invernal, el pasaje de rastras cruzadas (45° ó 90° respecto de las hileras) permite un muy buen control de malezas y de plántulas de resiembra.



**FIGURA 5** - Control mecánico de malezas en un cultivo en hileras distanciadas.

En algunas situaciones, el control manual de malezas es una práctica que no puede soslayarse, en especial durante el año de implantación del cultivo. La falta de herbicidas selectivos en alfalfa para controlar trébol de olor, y la similitud existente entre las semillas de ambas especies, hace que las plantas de esta maleza deban eliminarse manualmente.

El quemado de residuos de cosecha provee cierto control en malezas de hoja ancha y una reducción en el número de semillas de malezas en el suelo.

En casos extremos, la realización de un corte es otra práctica que puede utilizarse en el control de malezas, particularmente cuando éstas no han todavía formado semillas.

## Control químico

El empleo de herbicidas selectivos permite un control efectivo y prolongado de las malezas, tanto en cultivos en implantación como los ya establecidos. El uso preciso de un importante número de herbicidas, que difieren ampliamente en su acción y en sus métodos de aplicación, exige grados de planificación y de conocimiento mayores que los requeridos para la implementación de labores mecánicas. La textura y la humedad del suelo, el contenido de materia orgánica y las especies de malezas presentes influirán en la elección de los productos y dosis a usar.

La información disponible en el país sobre uso y dosis de herbicidas en cultivos de alfalfa para semilla es escasa, utilizándose -en muchos casos en forma inapropiada- las recomendaciones desarrolladas para otros ambientes o situaciones. Recomendaciones específicas sobre los productos y dosis a usar se presentan en el Capítulo 10 de esta publicación y en otros trabajos (20, 31, 43, 44, 123).

**Control químico en el establecimiento** - Antes de la siembra, y en camas ya preparadas, la aplicación de **paraquat** (500 a 750 g i.a ha<sup>-1</sup>) permite controlar malezas de hoja ancha en estado de plántula y gramíneas anuales (44). La **trifluralina** (550 a 900 g i.a ha<sup>-1</sup>) aplicada en presiembra e incorporada con rastra de discos, vibrocultivador o riego, ha sido eficaz en el control de malezas como pasto puna, capiquí (*Stellaria media* L.), sanguinaria, enredadera, quinoa (*Chenopodium album* L.), cardo ruso (*Salsola kali* L.), raigrás anual (*Lolium* sp.), avena negra (*Avena fatua*) y cebadillas (*Bromus* sp.); en algunas circunstancias, se ha observado algún grado de fitotoxicidad en la alfalfa. Otro producto que se menciona como selectivo para alfalfa en aplicaciones de presiembra incorporadas es el **EPTC** (2.500-3.000 g i.a ha<sup>-1</sup>), que tiene un espectro de control similar al de la trifluralina (31). El **methazole** (1.500 a 1.800 g i.a. ha<sup>-1</sup>), aplicado inmediatamente después de la siembra pero antes de la emergencia de la alfalfa y de las malezas, realiza un buen control de latifoliadas otoño-invernales (20, 31). También el **flumetsulam** (50 a 70 g i.a. ha<sup>-1</sup>), aplicado en preemergencia, es un herbicida selectivo eficaz para el control de malezas de hoja ancha. Es importante mencionar que el uso del riego por surco puede disminuir considerablemente la eficiencia de los herbicidas preemergentes (44).

La acción de los herbicidas indicados previamente puede ser complementada con otros productos aplicados en postemergencia. Entre éstos, puede mencionarse al **2,4-DB** (750 a 1.000 g i.a. ha<sup>-1</sup>), que resulta eficaz para el control de malezas latifoliadas que escapan a la acción de trifluralina o EPTC, como las crucíferas, los cardos (*Carduus* sp.), la quinoa, el yuyo colorado, la morenita (*Kochia scoparia* S.) y el cardo ruso. Otros herbicidas, como el **bromoxinil** (350 a 550 g i.a. ha<sup>-1</sup>), el **flumetsulam** (35 g i.a. ha<sup>-1</sup>) y **bentazón** (300 a 500 g i.a. ha<sup>-1</sup>) controlan especies de hoja ancha y normalmente se aplican en combinación con 2,4-DB para controlar malezas poco sensibles o resistentes a este último, como el apio cimarrón (*Ammis majus* L.), la ortiga mansa (*Lamium amplexicaule* L.), la manzanilla (*Anthemis cotula* L.) y la bowlesia (*Bowlesia incana* R.), etc. (31, 123).

Para el control de gramíneas anuales y perennes se cuenta con un número importante de herbicidas selectivos: **cletodim**, **fenoxaprop-p-etil**, **fluazifop-p-butil**, **haloxifop-metil**, **quizalofop-etil**, **quizalofop-p-etil** y **setoxidim** (24, 123).

**Control de malezas en cultivos establecidos** - En cultivos de más de un año de implantación y con la alfalfa en reposo invernal, generalmente el laboreo mecánico provee un buen control de malezas. Sin embargo, junto con el rebrote y el desarrollo del cultivo, suele comenzar una notable emergencia de malezas. Las principales malezas de aparición primavera-estival que invaden los semilleros en esta etapa son, entre otras, la quinoa, la morenita, el cardo ruso, el yuyo colorado, la roseta (*Cenchrus* sp.), el pasto cuaresma (*Digitaria sanguinalis* L.) y el capín (*Echinochloa crusgalli* L.).

Varios productos, cuyo uso no está recomendado para cultivos en implantación, pueden emplearse en lotes ya establecidos. Por lo común se aplican durante el reposo invernal o a la finalización del invierno, inmediatamente después de efectuada una labor mecánica y en preemergencia de las malezas. Entre ellos, el **diurón** (2,0-2,4 kg i.a. ha<sup>-1</sup>), el **terbacil** (800 a 1.000 g i.a. ha<sup>-1</sup>) y el **metribuzin** (550 a 750 g i.a. ha<sup>-1</sup>) pueden realizar un buen control de malezas de hoja ancha; además, como ventajas adicionales, poseen un adecuado poder residual y son capaces de cierto nivel de control en plántulas de resiembra (20, 31). La **propizamida** (1.0 a 2.0 kg i.a. ha<sup>-1</sup>) fue efectiva cuando se aplicó en preemergencia o posemergencia temprana y con muy buena humedad de suelo, controlando especies anuales de gramíneas y algunas latifoliadas (20).

Los sistemas de control con herbicidas postemergentes (**2,4-DB**, **bromoxinil**, etc.) son similares a los mencionados para el control en implantación, agregándose otros produc-

tos como **flumetsulam** (25 a 35 g i.a. ha<sup>-1</sup>), **imazetapir** (80 a 100 g i.a. ha<sup>-1</sup>), **clorimurón etil** (5 a 7,5 g i.a. ha<sup>-1</sup>) y **bentazón** (300 a 500 g i.a. ha<sup>-1</sup>). De acuerdo con algunos trabajos (95, 156), el éster del 2,4-DB -según la dosis usada y el grado de crecimiento de la alfalfa- puede provocar daños al cultivo, como reducción del crecimiento, quemaduras de las hojas y disminución de la floración.

Las gramíneas perennes, como gramón y sorgo de alepo, pueden ser controladas con aplicaciones de los herbicidas selectivos mencionados anteriormente. También la aplicación de glifosato (500 a 1000 g i.a. ha<sup>-1</sup>) durante los meses de bajas temperaturas y sin rebrote activo de la alfalfa, ha dado resultados satisfactorios.

## Control de la cuscuta

La cuscuta es una especie anual y parásita y constituye una de las malezas más problemáticas que se pueden encontrar en lotes de alfalfa para semilla, siendo mucho más grave en estos cultivos que en aquellos destinados a forraje. Las características de manejo de los cultivos para semilla favorecen el crecimiento y desarrollo de la cuscuta, permitiéndole completar su ciclo y producir semilla.

Cuando la semilla de cuscuta germina, la plántula que emerge comienza a rotar lentamente en el sentido de las agujas del reloj en búsqueda de la planta hospedante; una vez que la encuentra, se adhiere y la penetra por medio de haustorios para extraer su savia. A partir de ese momento, la plántula pierde todo contacto con el suelo y comienza a vivir a expensas de la planta hospedante. La cuscuta parasita no sólo a la alfalfa sino también a otras especies cultivadas (cebolla, papa, tomate, tréboles, zanahoria, etc.) y a malezas (cardo ruso, quinoa, etc.) (28). También tiene la capacidad de producir semillas «duras» (tegumento impermeable), que pueden permanecer en el suelo por períodos de 10-20 años y que, al requerirse períodos prolongados de control, complican su erradicación efectiva (127). Por otro lado, las semillas de cuscuta tienen forma, peso y tamaño muy similares a las de la alfalfa, lo que dificulta su separación con las máquinas tradicionales y encarece el proceso de limpieza posterior.

La cuscuta aparece generalmente en forma de manchones aislados que, si no son controlados, pueden llegar a invadir todo el lote. Para su control es importante considerar las acciones de tipo preventivo y el control químico. Las medidas preventivas a tener en cuenta son: a) no sembrar un cultivo para semilla en lotes que hayan tenido infestaciones importantes de esta maleza; b) no sembrar semillas de alfalfa infestadas con semillas de cuscuta; c) asegurar una adecuada limpieza de la cosechadora, especialmente cuando provenga de lotes infestados; d) controlar todas las plantas de cuscuta y las malezas de hoja ancha (posibles hospedantes) que se desarrollen a lo largo de caminos, alambrados y canales de riego; y e) no permitir la entrada de animales que hayan pastoreado un lote contaminado con cuscuta (28, 31, 111).

Se debe analizar la pureza físico-botánica de toda partida de semilla de alfalfa a fin de garantizar la ausencia de cuscuta. Para lotes de semilla destinados a la comercialización, la tolerancia para semillas de cuscuta que marca la Ley Nacional de Semillas y Creaciones Fitogenéticas (N° 20.247), a través de la Disposición SNS N° 12/88, es muy baja: a) para categoría segunda multiplicación: 1 semilla cada 50 gr de semilla de alfalfa, y b) para categorías original y primera multiplicación: totalmente libre de cuscuta (111).

En las partidas de semilla infestadas, la separación de esta maleza puede hacerse mediante un equipo especial conocido como «descuscutadora», cuyo principio de fun-

cionamiento aprovecha la rugosidad propia de la semilla de cuscuta para hacer que se le adhieren limaduras de hierro; luego, ese conjunto de semillas y hierro es separado mediante un electroimán. Este proceso es efectivo pero costoso, no sólo operativamente sino también por la pérdida de semilla de alfalfa agrónomicamente apta que -por pequeñas quebraduras o deformaciones a las que se adhieren también limaduras de hierro- es separada durante el proceso de limpieza. Esto último ocasiona mermas a menudo importantes, que en ocasiones pueden llegar al 30% (111).

El método a emplear para el control de los manchones de cuscuta dependerá del grado de infestación. Si se tienen varios manchones, pero se trata a cada uno en forma individual, debe tenerse en cuenta que ninguno de los métodos disponibles controla totalmente el problema (25). Si la cuscuta aparece en manchones aislados, es aconsejable controlarla antes que florezca y produzca semilla; para ello, se deberán cortar las plantas de alfalfa por debajo del lugar donde la cuscuta está adherida y dejarlas secar, retirando luego fuera del lote ese material vegetal cortado y seco. Una alternativa es rociar con gas oil el sector problema y quemarlo luego cuando se seque. Otra opción es quemar directamente el sector invadido con un lanzallamas o aplicarle un herbicida de contacto (paraquat) y, una vez desecado, quemarlo. En todos los casos, es muy conveniente el tratamiento de una superficie mayor a la del sector realmente invadido, a fin de evitar el «escape» de algunos tallos parasitados que pudieren pasar inadvertidos (28, 31).

Algunas experiencias realizadas en Washington, EE.UU., han demostrado que la aplicación de dosis extremadamente bajas de glifosato (75 a 150 g i.a ha<sup>-1</sup>) permite ejercer un control selectivo de la cuscuta cuando ésta ya está adherida en el hospedante (26).

En el caso de lotes ya invadidos, con una importante cantidad de semillas de cuscuta en el suelo, se recomiendan aplicaciones de herbicidas preemergentes, que eliminan las semillas o las plántulas de la maleza antes que se adhieran a la alfalfa. La **propizamida**, en dosis de 1 a 2 kg i.a. ha<sup>-1</sup> y aplicada en preemergencia de la cuscuta y antes del desarrollo de la alfalfa, posibilitó niveles de control cercanos al 80% (20, 31). Otros productos, como la **trifluralina** (granulada) en muy altas dosis, el **cloroprofán**, el **pendimetalín** y la **dinitroanilina**, también han sido utilizados con considerable efectividad en las áreas de producción de semilla de los EE.UU. (20, 25, 118, 119). En el Valle Inferior del Río Colorado se han obtenido controles de 98 a 100% de efectividad con pendimetalín, aplicado en octubre-noviembre y en dosis de 2 a 3,3 kg i.a. ha<sup>-1</sup> con incorporación mecánica (111); complementariamente, se ha podido controlar también la invasión de otras malezas que están usualmente presentes en esa fecha.

## Control de insectos

El daño de insectos-plaga puede reducir considerablemente los rendimientos de semilla de alfalfa y en muchas ocasiones pueden requerirse tratamientos de control químico; sin embargo, y en todo momento, deben evitarse las aplicaciones innecesarias de plaguicidas de amplio espectro. El objetivo de los tratamientos es alcanzar una reducción significativa de la población de la plaga con un efecto mínimo sobre los insectos polinizadores y la fauna benéfica (predadores, parásitos, etc.) (2, 93). En este sentido, es fundamental el uso de los umbrales de daño económico como punto de referencia para la decisión de realizar o no los tratamientos en un contexto de manejo de plagas (2).

La multiplicación de variedades resistentes; el corte de primavera y la quema de rastrojos (130), que disminuye la reproducción de insectos perjudiciales; la aplicación de

insecticidas en estado de botón floral o antes de la entrada de los polinizadores (128) y la elección adecuada del insecticida (espectro de control, especificidad, dosis, residualidad, etc.) son también prácticas de manejo que pueden reducir considerablemente las cantidades de insecticidas utilizadas en semilleros de alfalfa. Es importante familiarizarse con el concepto de **control integrado de plagas** a fin de no alterar el equilibrio dinámico que existe en todo ecosistema natural.

Los tipos y las densidades de las plagas varían de acuerdo con las zonas productoras, de modo que los programas de control deben definirse según las necesidades de cada una (93). En cualquier caso, es importante saber identificar la presencia de especies perjudiciales y de sus enemigos naturales. Respecto de estos últimos, a la lista de predadores ya ofrecida en el Capítulo 9 de esta publicación, pueden agregarse otras larvas de moscas sírfidas (*Allograpta exotica* W. y *Bacha* sp.); larvas de crisopas (*Chrysopa lannata* Banks.); ninfas y adultos de chinches predatoras, como la «chinche pirata» (*Orius insidiosus*), la «chinche ojuda» (*Geocoris* sp.) y otras (*Nabis* sp, *Podisus nigrispinis* D., *Podisus chilensis* y *Atrachelus* sp); arañuelas predatoras; mantoideos o «tata-dios» y diversas arañas (35, 155). Los parásitos son insectos muy pequeños, de menor tamaño que el huésped, que cumplen su ciclo dentro del mismo. Por otro lado, a la nómina de parásitos de plagas que se citaron en el Capítulo 9, podrían agregarse a las avispidas *Trissolcus basalis* y *Telenomus mormideae*, que pueden llegar a parasitar entre el 50 y el 90% de los huevos de chinches (2), y a *Ophion* spp. que ataca poblaciones de isocas cortadoras (155). Finalmente, entre los enemigos naturales de las plagas también hay entomopatógenos, que son virus, hongos o bacterias capaces de provocar enfermedades mortales en los insectos (35); entre éstos, el hongo *Entomophthora aphidis* puede causar, bajo condiciones de alta humedad, una mortalidad cercana al 90% en las poblaciones de plughón verde (9).

Si bien los problemas de insectos son esencialmente los mismos en un lote para producción de forraje que en uno para producción de semilla, en este último debe prestarse especial atención a los insectos capaces de producir daños en las etapas de floración, de fructificación y de maduración de las semillas. Paradójicamente, durante estas etapas no sólo se restringe el espectro de insecticidas a utilizar sino que deben extremarse los cuidados para no perjudicar la fauna benéfica. Durante la floración, a fin de preservar los polinizadores, se recomiendan las aplicaciones al atardecer o a la noche. También debe tenerse presente que los productos aplicados en floración disminuyen por un tiempo la frecuencia de visita a las flores por parte de los polinizadores (132). Si se emplean insecticidas biológicos, preparados en base a *Bacillus thuringiensis*, los tratamientos pueden hacerse a cualquier hora del día sin que se verifiquen efectos detrimentales (132).

Aún cuando existen unas 25 especies de insectos y arañuelas que fueron citadas como perjudiciales para la alfalfa en el país (9), la lista se reduce cuando se trata de culivos destinados a la producción de semilla. Entre las plagas **principales** se incluye a:

- **Pulgones:** pulgón verde de la alfalfa (*Acyrtosiphon pisum* H.), pulgón azul de la alfalfa (*Acyrtosiphon kondoi* S.), pulgón negro de las leguminosas (*Aphis craccivora* K.) y pulgón moteado de la alfalfa (*Therioaphis trifolii* M.).
- **Isocas defoliadoras:** isoca de la alfalfa (*Colias lesbia* F.), isoca medidora (*Rachiplusia nu* G.), isoca militar tardía (*Spodoptera frugiperda*) y oruga bolillera (*Heliotis* sp.).
- **Chinches:** chinche verde (*Nezara viridula* L.) y chinche parda de la alfalfa (*Piezodorus guildinii* W.).
- **Avispita de la alfalfa:** *Bruchophagus roddi*G.).



- **Arañuelas:** arañuela roja (*Tetranychus desertorum* B.) y arañuela bimaclada (*Tetranychus urticae*)

Entre las plagas **ocasionales** se pueden mencionar las siguientes:

- Orugas cortadoras: orugas ásperas o grasientas (*Agrotis* sp., *Porosagrotis* sp., *Euxoa* sp.).
- Trips: *Frankfaniella australis* M. y *Thrips tabaci* L..
- Enruladora de hojas: *Eulia* sp..
- Gorgojos de la raíz: varias especies (*Naupactus* sp., *Pantomorus* sp., etc.).
- Tucuras (*Dichroplus* sp.) y grillos (*Gryllus* sp.).

Atendiendo a que en el Capítulo 9 de esta obra se ofrece una completa descripción sobre los pulgones, las isocas (defoliadoras y cortadoras) y los gorgojos, se ofrecerá a continuación una breve descripción de las restantes plagas:

### Chinches de la alfalfa

Las chinches, por medio de su aparato bucal picador-chupador, succionan savia de las inflorescencias, vainas y granos en formación, produciendo abortos y deformaciones o vaneos de semillas; además, introducen toxinas y hongos patógenos en los tejidos de la planta (2). Los daños de chinches pueden ser muy importantes, habiéndose detectado en San Juan pérdidas de semilla de hasta el 90%. El control de estos insectos se complica porque el uso de insecticidas que no sean selectivos durante la floración puede ocasionar un severo impacto en los polinizadores. Si bien existe una gran diversidad de parásitos (el microhimenóptero *Trissolcus basalus* y la mosca *Trichopoda giacomelli*) y predadores (nápidos, geocóridos, coccinélidos, carábidos, hormigas y arácnidos) que destruyen huevos y ninfas de chinches, su efectividad aún no ha sido establecida (2).

Se sugiere efectuar tratamientos de control cuando se detecte la presencia promedio de al menos una chinche adulta (o ninfa mayor de 5 mm) por golpe de red, sobre un mínimo de 20 golpes distribuidos en el lote según un esquema de 4-5 golpes por estación de muestreo. Se sugiere un muestreo por semana, aunque durante los períodos críticos de fructificación y maduración se recomienda incrementar la frecuencia de muestreo. Si la cantidad de chinches justifica el tratamiento, la aplicación nocturna en floración de **endosulfan** (35%), en dosis de 350 a 420 g i.a. ha<sup>-1</sup>, ha dado muy buenos niveles de control

### Avispita de la alfalfa

Este microhimenóptero afecta la producción de semilla principalmente en el sur de la Región Pampeana, aunque también se la detectó en Cuyo. En algunas zonas de EE.UU., y según las condiciones, puede destruir desde el 2 al 80% de la semilla de alfalfa (91).

La avispita adulta mide 1,5-2 mm y es de color negro, con partes de las patas marrón o amarillo. Las hembras colocan sus huevos en las vainas inmaduras y las larvas. Una vez nacidas, se introducen en las semillas y se nutren de ellas, vaciándolas. Cuando la larva completa su desarrollo, se transforma en pupa y a los pocos días emerge el adulto a través de una perforación de la semilla vacía (34). Ante una presencia importante de la plaga en un lote de alfalfa, se tornan fácilmente observables las vainas ya maduras con perforaciones ocasionadas por la emergencia del adulto. Se estima que en la Argentina el insecto tiene al menos 3 generaciones año<sup>-1</sup> y que pasa el invierno como larva dentro de las semillas (2).



Las pérdidas ocasionadas por este insecto suelen pasar desapercibidas para el productor, dado que las semillas afectadas -al ser más livianas que el resto- se pierden junto con los residuos de trilla, impulsadas por el ventilador de la cosechadora. De esta manera, la plaga queda en el lote y constituye la fuente de infestación o recolonización para el siguiente año (34). Por otro lado, y como consecuencia de los órganos vegetales que ataca y de su ciclo biológico, las pulverizaciones con insecticidas no son efectivas para su control. En ese contexto, para reducir los daños se aconseja: i) quemar el rastrojo o los restos de cosecha, o bien enterrar las semillas infestadas que quedan en el suelo después de la cosecha por medio de labores mecánicas; ii) eliminar todas las plantas con semillas maduras en los alrededores del lote; y iii) evitar la siembra de semillas infestadas (2, 91).

### **Arañuelas**

Es poco conocido el efecto de estos ácaros sobre el rendimiento de semilla, aunque se ha observado que una alta población produce amarillamiento del follaje, secado de las hojas y prematura caída de folíolos (128). La plaga se presenta por lo general en manchones, que van aumentando de tamaño a medida que la infestación se propaga. Aunque no se ha determinado todavía su nivel de daño económico, el control es más efectivo cuando se realiza en etapas tempranas del desarrollo del ácaro y cuando se perciben los primeros manchones en el lote. Un control tardío generalmente no es necesario, a menos que las arañuelas infesten los racimos florales aún potencialmente capaces de producir semilla. Existen en el mercado acaricidas efectivos que no perjudican a los insectos benéficos y que aumentan su efectividad cuando son aplicados en la prevención más que en el control de las infestaciones (95).

### **Trips**

Si bien la presencia de estos insectos en las flores de alfalfa es usual, no es generalmente detectada por el observador común (155). El daño que provocan en las inflorescencias de alfalfa se manifiesta a través de decoloración y marchitamiento de las flores, aborto floral y alteraciones en la formación de semilla (91). La aplicación de deltametrina (1,5-8 g i.a. ha<sup>-1</sup>) demostró ser efectiva hasta los 11 días posteriores al tratamiento (36).

### **Enrullador de la hoja**

Estas pequeñas isocas producen una tela que enrolla y envuelve las hojas ubicadas en las partes apicales de las plantas, incluidas las inflorescencias. De ese modo, los hilos sedosos que producen pueden impedir que las flores queden expuestas para la polinización. Hasta el presente, la información producida acerca de las medidas de control de esta plaga ocasional es muy escasa (9, 95).

### **Tucuras y grillos**

Las tucuras y los grillos suelen alimentarse del follaje de la planta, pero también lo hacen de las flores y las semillas en formación, especialmente cuando están en estado lechoso. El daño que causan se puede detectar a través de la observación en el suelo de pequeños grupos de vainas cortadas, de las que la plaga extrae la semilla. El control puede efectuarse con cebos tóxicos (más recomendado) o con aplicaciones foliares de numerosos insecticidas fosforados y carbamatos.

## Chicharritas

En lotes de producción de semilla bajo riego en algunas áreas de Cuyo se ha detectado la presencia de «chicharritas», que si bien no causan daños por sí mismas, se sospecha que son transmisoras de micoplasmas. Las plantas afectadas presentan una proliferación de tallos muy finos, con folíolos muy pequeños, y una coloración verdosa en las flores. Todos esos síntomas se engloban en una enfermedad denominada «escoba de bruja», que hace que las plantas atacadas generalmente no produzcan semilla. Por el momento no existe información acerca de la implementación de medidas directas de control, siendo lo más aconsejable la eliminación de plantas afectadas y el control del insecto vector.

## Polinización

El proceso de adaptación de las plantas a un ambiente determinado supone su co-evolución con un complejo de animales que se relacionan directa o indirectamente con ellas. Entre éstos se incluyen a los insectos polinizadores, que buscan la flor de una planta para obtener alimento para sí mismos o para sus crías (50). A efectos de ser polinizada por insectos, la planta -como es el caso de la alfalfa- debe tener algo que ofrecerle en términos de estímulo o alimentación. En el primer caso, los insectos pueden verse atraídos por estímulos visuales (forma y color de flor) u odoríferos (olor del polen, del néctar o de glándulas especializadas). En el otro caso, los insectos pueden ser atraídos por el valor alimentario del polen, del néctar o de otras partes de la flor. En otros casos, las plantas también pueden ser visitadas para la recolección de hojas que sirven a los insectos para la construcción de sus nidos (50).

En muchos casos, el principal atrayente para los insectos es el polen, ya que constituye un alimento rico en proteínas (16-30 %), almidón (1-7 %), azúcares (0-15 %) y materias grasas (3-10 %). El néctar también resulta muy atractivo, dado su alto contenido (25-75 %) de azúcares de varios tipos (glucosa, fructosa, sacarosa, etc.). Cuando el polen es el único atrayente se presenta en grandes cantidades, similares a las que producen las plantas de polinización anemófila. Como alimento para las crías de insectos, el polen es más importante que el néctar, especialmente durante los primeros estadios larvarios a partir de la eclosión de los huevos (50). Sin embargo, para los períodos más críticos del año, la abeja melífera hace provisión de néctar a fin de asegurar la alimentación de las crías o la supervivencia de la colmena. Por lo tanto, la abeja melífera no siempre colecta polen, lo que puede tornarse muy malo para el caso de la alfalfa ya que una flor visitada por una recolectora de néctar puede no producir el desenlace y la polinización de la misma (50).

## Polinización en alfalfa

Para producir semilla en cantidad y calidad la alfalfa requiere de polinización cruzada (alogamia), que se lleva a cabo a través de varias especies de insectos (entomófila) que actúan como agentes de intercambio de polen (4). La alogamia en la alfalfa se ve favorecida por mecanismos de autoesterilidad y autoincompatibilidad. Además, la disposición de los órganos florales hace necesario un mecanismo de desenlace en el que los insectos juegan un rol fundamental. El desenlace es la liberación de la columna sexual (pistilo y estambres) de cada flor, lo que ocurre por la presión ejercida por los insectos (ver Capítulo 2). La polinización cruzada tiene lugar cuando, en el momento del desenlace, la columna sexual golpea el abdomen del insecto que, al transportar polen de otras flores, lo pone al alcance del estigma para iniciar el proceso de fecundación.

La polinización deficiente es uno de los factores que más ha dificultado la producción de semilla de alfalfa en el mundo. Los intentos para desarrollar variedades autógamas o para utilizar medios químicos o mecánicos que reemplacen a los insectos en el desenlace floral no han dado resultados satisfactorios (5, 120). El polen de otra planta desarrolla más rápido y alcanza el óvulo antes que el polen de la misma planta, produciendo una semilla de polinización cruzada que tiene un mayor valor genético. Cuando ocurre autofecundación, sólo alrededor del 36% de las flores fecundadas forman vainas, mientras que con polinización cruzada ese valor trepa al 60%.

En ausencia de insectos polinizadores, se puede producir una abundante cantidad de semilla autofecundada, que dará origen a plántulas de menos vigor. Una sola generación de autofecundación produce una población de plantas que reduce su producción de semilla alrededor del 62% y de aproximadamente 50% la de forraje. El pasaje sobre las plantas de diversos elementos -como rastras, cadenas, postes, alambres, etc.- produjo incrementos en el desenlace de las flores de hasta 422%, pero la producción de semilla llegó sólo al 71% de la alcanzada en el lote testigo, donde no se usaron métodos artificiales sino polinización natural. En general, rindes de semilla de 50 a 150 kg ha<sup>-1</sup> y 1 a 3 semillas vaina<sup>-1</sup> indican un alto nivel de autofecundación.

## **Insectos polinizadores**

Las abejas son los insectos de mayor valor como polinizadores de alfalfa. Existen varias especies importantes: abeja melífera (*Apis mellifera*), abeja cortadora de hojas (*Megachile rotundata*), abeja alcalina (*Nomia melanderi*), abejorros (*Bombus* sp.), abeja de trompa larga (*Mellisodes* sp.), abeja carpintera (*Xylocopa* sp.) y otras de menor importancia (98). Aunque la eficiencia de varias abejas silvestres es muy alta, las dificultades para su manejo y explotación han hecho que la producción de semilla de alfalfa -particularmente en los EE.UU.- se base sólo en el uso de tres especies: abeja melífera, abeja cortadora de hojas y abeja alcalina (98).

La actividad de las abejas depende de muchos factores, entre ellos: las condiciones ambientales (temperatura, vientos, humedad, etc.); el cultivar; el estado del alfalfar; la proximidad de otras plantas de floración simultánea; la forma, el tamaño y el color de las flores; y el uso de insecticidas en ese u otros lotes vecinos (102). Las bajas temperaturas, los fuertes vientos, el cielo nublado y la lluvia, retardan el vuelo de las abejas. En esos períodos hay poca o ninguna recolección de polen o néctar. Las abejas recolectoras prefieren plantas que crecen en suelos moderadamente secos y, al parecer, en estas condiciones la concentración de azúcar del néctar es mayor (98).

En cada área de cultivo es posible encontrar poblaciones de abejas nativas. Es frecuente la obtención de rendimientos relativamente altos en lotes de alfalfa ubicados cerca de montes naturales, donde una o más especies de insectos silvestres actúan como polinizantes naturales. Lamentablemente, estas situaciones son cada vez menos frecuentes, dado que las modernas prácticas de cultivo y el uso indiscriminado de agroquímicos han ido destruyendo esa fauna natural que cumple una importantísima misión.

## **Polinización con abejas melíferas (*Apis mellifera*)**

Si bien la flor de la alfalfa es atractiva para las abejas melíferas, la cantidad real de ellas que visita las flores depende no sólo del número, la fortaleza y la proximidad de las

colmenas, sino también de la competencia de otras fuentes atractivas de polen y néctar existentes en el área. La relativamente fácil disponibilidad de colmenas y el ingreso adicional que supone la producción de miel convierten a la abeja melífera en el polinizador más común de las áreas productoras de semilla. Cuando los productores de semilla alquilan las colmenas, éstas pueden concentrarse en un número mayor al recomendable para la producción de miel y -distribuidas uniformemente en un radio de aproximadamente 1,5 km- manipularse de manera que resulten eficientes polinizadores de la alfalfa (93, 97, 102).

En los semilleros de alfalfa las abejas obreras son principalmente recolectoras de néctar (102) y si bien visitan las flores rápidamente (alrededor de 14 minuto<sup>-1</sup>) evitan el mecanismo de desenlace, llegando a fecundar sólo el 1% de las flores visitadas. De acuerdo con estimaciones realizadas, ese promedio de desenlace decrece aún más a medida que se avanza hacia el norte de los EE.UU. y Canadá, pero se incrementa al 2-3% en el sudoeste desértico estadounidense. Por el contrario, las recolectoras de polen trabajan más lentamente (8 flores minuto<sup>-1</sup>) pero desenlazan el 80% de las flores visitadas, lo que hace que polinicen un promedio de 384 flores hora<sup>-1</sup> y sean 45 veces más eficientes como polinizadoras que las recolectoras de néctar. Lamentablemente, las recolectoras de polen no representan por lo común más del 1 al 5% de la población de abejas (97).

Bohart (12) calculó que en plantas con buen potencial agronómico, una población de 7,17 abejas melíferas m<sup>-2</sup> que sólo desenlacen y fertilicen el 1 % de las flores visitadas, originan un rendimiento de semilla de 392,13 kg ha<sup>-1</sup>. Una abeja recolectora de polen cada 10 m<sup>2</sup> desenlaza tantas flores como 5 recolectoras de néctar en la misma superficie. Tanto es así que si en observaciones a campo se determina que diariamente hay 18-30% de flores desenlazadas, se puede inferir que en la colonia hay recolectoras de polen. Estos porcentajes se pueden incrementar manteniendo el cultivo en condiciones atractivas para las recolectoras de polen, empleando técnicas que minimicen la competencia de otras fuentes de polen (97).

La lluvia impide el vuelo de las abejas, al igual que vientos superiores a los 40 Km. h<sup>-1</sup> (10, 102). Las abejas que provienen de colonias robustas alcanzan su punto de máximo vuelo cuando la temperatura es superior a 15° C, mientras que las provenientes de colonias débiles no lo alcanzan hasta que la temperatura es superior a 20° C. Las recolectoras de polen tienen picos de actividad entre 32 y 44° C, pero las de néctar alcanzan su máxima actividad entre 32 y 35° C (45).

## Manejo

Las colonias de abeja melífera usadas como polinizadoras requieren un manejo especial para maximizar su eficiencia. Entre los factores a considerar pueden mencionarse: a) una reina joven, activa, con buena capacidad de postura de huevos, acceso a dos pisos de la colmena y suficiente lugar para postura y producción de cría; b) una colonia fuerte, con un mínimo de 6.250 cm<sup>2</sup> de cría; c) abundantes obreras como para cubrir 8-10 marcos con una densidad de 4-5 abejas pulgada<sup>-2</sup> sobre las 3/4 partes de la superficie en ambas caras; d) colocación de 8-10 colonias ha<sup>-1</sup>, de manera tal que haya al menos 3-5 obreras m<sup>-2</sup>; e) distribución gradual de las colonias, colocando el 50 % cuando se alcanza el 25-40% de floración, y el resto 7 a 10 días más tarde; f) agrupación de las colonias de forma tal que haya entre 12 y 25 dentro del lote, lo que hace que el rango de vuelo de las abejas se superponga a intervalos de 100 a 150 m; g) inspección frecuente de la fortaleza de la colonia desde que las primeras abejas se colocan en el campo, y realización de exámenes periódicos para extraer la miel y poner alzas adicionales por encima de la primera cámara, a fin de proveer suficiente área de postura para la reina; h)

implementación de un sistema de riego que posibilite un desarrollo lento pero continuo de flores atractivas; i) tanto como sea posible, eliminación de las fuentes de polen competitivo, haciendo coincidir los períodos de floración del cultivo con épocas de ausencia o escasez de otras fuentes alternativas de polen.; j) si la existencia de flores competitivas no se puede eliminar, se debe compensar su presencia con el agregado de colonias adicionales (97, 98, 121, 122, 138); k) aplicación de insecticidas sólo cuando sea absolutamente necesario para mantener las plagas debajo del nivel de daño económico y usando los productos específicos que sean menos dañinos para las abejas (18, 35, 47) (Cuadro 1); y l) formalización de contratos escritos entre los productores de semilla y los apicultores, que aclaren los posibles puntos de controversia y especifiquen el alquiler de las colmenas. También debería incluirse una compensación por la pérdida de miel, dado que 8-10 colmenas ha<sup>-1</sup> es incompatible con una máxima producción de miel; además, la aplicación de insecticidas usualmente elimina o debilita las colmenas y reduce drásticamente el rendimiento de miel (97, 98, 101).

Siempre se consideró que las fuentes de polen más atractivas tendían a desviar a las abejas de la alfalfa. Sin embargo, este concepto -si bien ampliamente aceptado- no es necesariamente válido cuando se lo estudia con sumo cuidado. En efecto: un análisis del polen recolectado a lo largo del período de floración por las abejas de las colmenas colocadas en el lote de producción, reveló un incremento en la recolección de polen de alfalfa, lo que a menudo está asociado con incrementos desde otras fuentes alternativas. Esto sugiere que el polen competitivo en realidad estimula a las abejas a recolectar más polen de todas las fuentes disponibles, incluyendo la alfalfa. Es común que se observen grandes diferencias en el número de abejas recolectoras de polen entre dos lotes de alfalfa adyacentes, lo que indicaría la existencia de diferencias en la condición de las plantas más que la competencia de otras fuentes de polen. El riego es una de las prácticas de manejo que más afecta el número de abejas presentes en un lote (93, 102, 122).

## ***Polinización con abeja cortadora de hojas (Megachile rotundata)***

El himenóptero *Megachile rotundata* Fabricius es originario del sudoeste asiático y del sudeste europeo, que se caracteriza por su alta eficiencia en la polinización y su preferencia por la alfalfa, aun en presencia de otras fuentes de polen. Es una especie de hábitos gregarios para anidar, haciéndolo naturalmente en perforaciones de troncos y en tallos huecos de plantas herbáceas. Este comportamiento facilitó su semidomesticación y su multiplicación en gran escala mediante la construcción de domicilios artificiales a campo. Paralelamente, su importancia como polinizador despertó el interés por el estudio de su biología, a efectos de definir su manejo y su uso en la producción de semilla de alfalfa (143). Sobre estos últimos aspectos, existen numerosos trabajos que aportan importante información (6, 9, 10, 13, 14, 40, 69, 73, 82, 139, 140, 141, 158).

### **Manejo**

El manejo invernal se concentra en proporcionarle un ambiente de baja temperatura (4° a 5° C), destinado a uniformar y mantener el estado de diapausa de las larvas hasta la siguiente temporada. Se debe también controlar que la humedad relativa no sobrepase el 60% a fin de evitar la contaminación de hongos (10, 69, 73). Bajo estas condiciones, no sólo se impide el daño de enemigos naturales sino que se puede sincronizar la emergencia de los adultos con el inicio de la floración de la alfalfa. Para esto último, las larvas invernantes deben someterse a un proceso de incubación, con el que se rompe la diapausa invernal para iniciar la pupación, que permitirá completar el desarrollo y uniformar la emergencia de los adultos.



**CUADRO 1** – Listado de agroquímicos utilizados en alfalfa agrupados según su efecto sobre las abejas melíferas. Adaptado de Hojas de Divulgación N° 9/91 del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España.

PRODUCTOS PRÁCTICAMENTE INOCUOS PARA LAS ABEJAS				
Insecticidas/Acaricidas				
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Clofentezin	Dicofol	Fluvalinato	Propargita
Bendiocarb	Clorfenvinfos (GR)	Diflubenzuron	Fonofos	Terbufos
Benzoximato	Clorpirifos (GR)	Etiofencarb	Forato	Tetradifon
Bromopropilato	Diazinón (GR)	Fenbutestan	Foxim (GR)	Tiofanox
Carbosulfan (GR)	Dazomet	Flubenzimina	Metam sodio	Triflumuron
Funguicidas				
Azufre	Ditlanona	Mancozeb	Permanganato potásico	Quinosol
Benomilo	Dodemorf	Metalaxil	Pirazofos (LC)	Quintoceno
Captañ	Etirimol	Metiram	Polioxina-5	Tiram
Carboxina	Fenarimol	Oxicarboxina	Propiconazol	Triadimefon
Carbendazima (PM)	Himexazol	Oxicloruro de cobre	Propineb	Vinclozolin
Clortalonil	Iprodiona	Oxido cuproso	Quinometionato	Ziram
Cubiet	Kasugamicina			
Herbicidas				
Alacloro	Clortal	Fenmedifan	Metanol	Proacloro
Ametrina	Clortoluron	Fluometuron	Metobromuron	Propizamida
Asulam	Dicamba	Fluorocloridona	Metoxuron	Simazina
Atrazina	Diclobenil	Glifosato	Metribuzin	TCA
Bromacilo	Difanamida	Isocarbamida	Naptalam	Terbacilo
Cianazina	Diuron	Linuron	Nitrógeno	Terbutrina
Cloridazona	EPTC (GR)	Metabenzotiazuron	Piridato	Trialato
Cloroxuron	Etofumesato	Metamitrona	Prometrina	Pendimetalina
Varios				
Acido giberélico	Clormecuat	Daminozida	Hidracida Malpica	Profam
PRODUCTOS DE MODERADA TOXICIDAD PARA LAS ABEJAS				
Insecticidas/Acaricidas				
Aldicarb	Binapacril	Deltametrin	Fosalone	Metaxicloro
Alfamectrina	Carbofurano	Dialfos	Foxin (LE)	Nicotina
Aceite mineral	Cipermetrina	Dinibuton	Lindano (P)	Oxamilo (GR)
Amitraz	Clorfenson	Endosulfan (LE,PM)	Menazon	Pirimicarb
Azociclotin	Clorfenvinfos (LE,PM,P)	Etil-paration (GR)	Metil oxidemeton	Temefos
Bifentrin	Criolita	Fenvalerato	Metiocarb (GR)	Tetraciorvinfos Tiometon
Funguicidas				
Benalaxil	Diclofuanida	Ferbam	Noban	
Caldo bordelés	Dinocap	Fosetil-Al	Sulfato de cobre neutral	Zineb
Captafol	Dodina	Maneb	Triforina	
Herbicidas				
Benfluralina	Cicloato	EPTC (LE)	MSMA	Propanil
Bensulida	2,4,D	Flurecol	Oxadiazon	Sulfosato
Bentazon	Dalapon	MCPA	Paracuat	Trifluralina
Bifenox	Dicuat	Mecoprop	Pebulato	Vermolato
Bromoxinilo	Difenzocuat	Molinato	Picloran	
Butilato	Endotal			
PRODUCTOS TÓXICOS PARA LAS ABEJAS				
Insecticidas/Acaricidas				
Acefato	DMOC	Fentoato	Metidation	Naled
Carbaril	Endosulfan (P)	Flucitrinato	Metil azinfos	Ometoato
Carbofenotion	Etil paration (LE,PM)	Formotion	Metil clorpirifos	Oxarnilo (LE)
Cartap	Etil azinfos	Fosfamidon	Metil paration	Permetrina
Clorpirifos (LE,PM,P)	Etion	Fosmet	Metil pirimifos	Profenofos
Diazinon (LE,PM)	Fenamifos	Foxim (P)	Metiocarb (PM)	Promecarb
Diclorvos	Fenitrotion	Heptenofos	Metomilo	Quinalfos
Dicrotofos	Fenpropatin	Lindano (LE,PM)	Metopreno	Tiodicarb
Dimetoato	Fention	Malation	Mevinfos	Triazofos
		Metamidofos	Monocrotofos	
Funguicidas		Herbicidas		
	Pirazofos (P)			Metolacloro

LE: Líquido emulsionable. PM: Polvo mojable. P: Polvo espolvoreo. GR: Gránulos



La incubación consiste en someter los estados inmaduros a temperaturas moderadas, entre 26° y 32° C. La duración de este proceso es variable según la temperatura utilizada: a 26° C insume unos 40 días y a 32° C la emergencia se produce aproximadamente en 21 días (96). A temperaturas inferiores a 26° C, la sincronización de la emergencia de adultos es muy pobre, mientras que por encima de los 32° C se produce una elevada mortalidad (73, 86, 142). Para que el proceso se realice adecuadamente, se han diseñado cámaras especiales de incubación que proporcionan las condiciones apropiadas (69). Una vez que han emergido los primeros adultos, el material con las celdas ya está en condiciones de ser instalado en los domicilios de campo, donde se completará el proceso de emergencia.

Los domicilios son instalaciones destinadas a proporcionar un ambiente de nidificación para que las hembras construyan sus celdas y pernocten. Además de proporcionar la sombra adecuada al material de nidificación, deben también ofrecer protección a los insectos contra el viento, la lluvia, los pájaros, los enemigos naturales y los insecticidas. La entrada debe estar orientada hacia el este, de manera que reciban los rayos solares desde las primeras horas de la mañana y se induzca así la actividad de las abejas desde las primeras horas del día. Además de la suficiente ventilación y de poseer estructura sólida y liviana para su fácil traslado, deben contar con el espacio suficiente para albergar abundante material de nidificación para el aumento poblacional (10, 14, 40). Las hembras anidan en galerías circulares, oscuras, de 5-6 mm de diámetro y 5-10 cm de longitud. Como material de nidificación se han utilizado numerosos elementos: pajuelas de papel encerado o de material plástico, maderas con perforaciones, papel corrugado, maderas o plásticos acanalados, bloques de poliestireno expandido de alta densidad (telgopor), etc. (4, 14, 141).

Los domicilios pueden ser unidades fijas de madera, con capacidad para 20.000 a 60.000 galerías de nidificación, o estructuras móviles de tamaño mediano a grande, con capacidad para 100.000 a 500.000 galerías de nidificación. Los primeros (pequeños y hijos) tienen bajo costo pero proporcionan menor eficiencia de polinización. Los móviles y de mayor tamaño son más apropiados para polinizar superficies mayores y pueden ser trasladados dentro del lote según las variaciones de la floración; sin embargo, su mayor inconveniente es su alto costo.

El manejo de campo durante la temporada activa de los polinizadores, una vez instalado el material incubado en los domicilios, se basa en dos aspectos fundamentales: a) proporcionar suficiente material de nidificación, de manera de permitir el aumento poblacional, y 2) proporcionar una adecuada cantidad de flores para que los insectos puedan alimentarse suficientemente. Al final de la temporada, cuando la actividad de los adultos ha cesado y la temperatura ambiental comienza a decrecer, los nidos con celdas deben ser retirados del campo y mantenidos en diapausa a baja temperatura hasta la siguiente primavera (8, 10, 14, 73, 139).

### **Dinámica Poblacional**

El incremento poblacional anual depende del número de generaciones que se produzcan durante la temporada. En Oregon y California (EE.UU.) y en Chile es posible obtener, bajo excelentes condiciones climáticas, dos generaciones temporada<sup>-1</sup> (8, 10, 139, 140). En Utah (EE.UU.) y Alberta (Canadá) se produce una generación año<sup>-1</sup>, y sólo una pequeña fracción de las celdas aprovisionadas al comienzo de la temporada da origen a una segunda generación (14, 86). En el Valle Inferior del Río Colorado (Buenos Aires, Argentina) se han obtenido 1 o 2 generaciones año<sup>-1</sup> (7). Teóricamente, si se controlaran eficazmente los ataques de parásitos, predadores y enfermedades, las poblaciones podrían incrementar en 5 a 6 veces el número de individuos en cada temporada;

sin embargo, la ocurrencia de esta situación es poco probable bajo condiciones reales. En la Argentina, si bien en algunos años se ha llegado a un incremento poblacional de 2,5 veces, en la mayoría de los casos los incrementos logrados permitieron solamente recuperar la población inicial o alcanzar pequeños márgenes de aumento (6).

## Densidad poblacional y polinización

Las estimaciones sobre la población necesaria de *Megachile rotundata* para una buena polinización se basan en la capacidad individual de la hembra como polinizadora a lo largo de su vida útil, en el número de celdas de nidificación que primariamente deben ubicarse en los domicilios de campo y en el número de celdas aprovisionadas durante la temporada. Para una buena polinización, el número de hembras activas necesarias se calcula en 15.000-25.000 ha<sup>-1</sup>. De ese modo, y asumiendo que la proporción normal en una población es 1 hembra: 3 machos, sería necesario contar con 45.000-75.000 celdas ha<sup>-1</sup>. En consecuencia, el empleo de un domicilio móvil y grande (1.000.000 de celdas) debería ser suficiente para polinizar aproximadamente 20 ha. No obstante, cuando se trabaja bajo condiciones climáticas desfavorables, los requerimientos para una correcta polinización pueden llegar a más de 100.000 celdas hectárea<sup>-1</sup>. Por otro lado, si los domicilios se trasladan a distintos sectores del lote durante la estación de polinización, la efectividad de los megachiles puede ser mayor. En la Argentina, la correcta utilización de los megachiles ha posibilitado la obtención de rendimientos de semilla de alfalfa que superaron en 4 a 7 veces el promedio de la zona (4, 112).



FIGURA 6: Domicilio fijo de *M. rotundata* dispuesto en un lote de alfalfa.

## Enemigos naturales y su control

Una de las principales causas de mortalidad de *Megachile rotundata* es el daño producido por sus enemigos naturales. Esta denominación comprende diversos parásitos externos e internos, predadores, destructores de nidos y enfermedades. Se ha confeccionado una lista de 36 especies con estas características, que incluyen una bacteria, seis hongos, un ácaro y veintiocho insectos (3, 10, 72, 104, 157).

En la Argentina se determinó la presencia de los parásitos *Monodontomerus obscurus* y *Dibrachys maculipennis*, del destructor de nidos *Vitula edmansae* y del hongo patógeno *Ascospaera aggregata*, causante de la enfermedad conocida como «chalk brood». También fueron detectados los parásitos *Melittobia acasta*, *Horismenus albipes* y *Coelioxys* sp.; mientras que se ignora si el primero de ellos es nativo o introducido, los otros se presumen autóctonos. El meloideo *Nemognatha nigrotarsata* es un destructor nativo de nidos que ha provocado daños importantes a las poblaciones de *M. rotundata* establecidas en Santiago del Estero y San Juan. Más recientemente se detectó al microhimenóptero *Pteromalus apum*, considerado una especie muy dañina que parasita en Europa diversas especies de *Megachile* y que fuera introducido accidentalmente en América del Norte después de 1965. En nuestro país, los enemigos naturales que han provocado mayores perjuicios son *Melittobia acasta*, *Pteromalus apum* y *Ascospaera aggregata* (4, 7). El control de estos enemigos naturales debe planificarse de acuerdo con las características de su biología y al momento de ataque a los megachiles, sea durante la diapausa, la incubación o la etapa activa en el campo (3, 8, 10, 71, 72, 157).

## Polinización con abejas silvestres

La denominación «abejas silvestres» se refiere a aquellas especies no utilizadas por el hombre para la producción de miel y no incluye a las abejas melíferas de apiarios o colonias silvestres. En este contexto, varias especies han sido reconocidas a través de los años como eficientes polinizadores de alfalfa (15, 46, 89, 103, 144).

Salvo algunas excepciones, las abejas silvestres visitan la alfalfa para recoger polen y néctar. Muchas especies son muy diestras para producir el desenlace de las flores y obtener el polen; otras, en cambio, tienen mayor dificultad (15). Entre las especies solitarias, las de mayor tamaño tienen mayor amplitud de vuelo y usualmente son también más eficientes en el desenlace de las flores. Por lo general, las abejas pequeñas (<0,5 cm de largo) son incapaces de liberar el polen porque su peso es insuficiente para presionar la quilla y liberar la columna estimal (15, 50).

Free (46), Mc Gregor (103) y Stephen (144) clasificaron las familias y géneros más representativos de los polinizadores silvestres. La nómina completa de estas especies descritas en el mundo ronda las 19.000 (89). En la Argentina, los insectos nativos más eficientes en la recolección de polen incluyen a los abejorros *Bombus* sp. y *Megabombus* sp. y a especies del género *Megachile*. Entre aquellos insectos que desenlazan 10-20 flores minuto<sup>-1</sup> hay especies de los géneros *Nomia*, *Melissodes*, *Bombus*, *Megabombus*, *Megachile*, *Xylocopa* y *Anthophora* sp., destacándose que estos últimos cuatro están presentes en la Argentina (50). La mayor parte de las especies mencionadas anidan en el suelo, en troncos o trozos de madera, en pequeñas o grandes cavidades, y aun en superficies totalmente expuestas (46, 50, 103, 144).

Varios son los trabajos realizados en el país que se refieren a la identificación y el manejo de los polinizadores naturales y a su importancia en la producción de semilla de alfalfa (11, 29, 99, 100, 116, 148, 149). Las especies más frecuentemente registradas en los muestreos e identificadas de manera sistemática son: *Colletes* sp.; *Megachile* sp.; *Caupolicana lugubris*; *Xylocopa splendidula*; *Xylocopa augusti*; *Bombus bellicosus* y *Bombus* sp. (100). Algunas de ellas se muestran en la Figura 7.



FIGURA 7: Polinizadores silvestres de alfalfa: 1) *Bombus bellicosus*; 2) *Xylocopa augusti*; 3) *Caupolicana* sp. y 4) *Colletes* sp.

La presencia de polinizadores silvestres en algunas áreas marginales de la Argentina es una de las principales causas de los altos rendimientos de semilla de alfalfa obtenidos. Dichas áreas, que reúnen ciertas condiciones ecológicas y se ubican en las cercanías de montes naturales, facilitan la supervivencia y la multiplicación de estas especies benéficas. Si bien la eficiencia polinizadora de estos insectos es muy alta, su manejo y su explotación se presentan como muy difíciles. Una alternativa interesante es implementar medidas proteccionistas a fin de mantener y/o incrementar sus poblaciones.

La producción de semilla de alfalfa en áreas nuevas registra a menudo excelentes rendimientos iniciales, que luego decaen a los pocos años. En este escenario, la aplica-

ción indiscriminada de insecticidas de amplio espectro para controlar plagas es una de las principales causas de esta merma, dado que eliminan o merman las poblaciones de los polinizadores silvestres. También contribuyen a esto la destrucción involuntaria de sitios de nidificación por el laboreo del suelo y la eliminación de plantas que proveen alimento alternativo, al florecer antes o después que la alfalfa.

## Cosecha

La cosecha de semilla de la mayoría de las especies forrajeras ofrece inconvenientes que suelen provocar grandes pérdidas (56, 64, 78, 152). En alfalfa, las principales causas son: 1) condiciones climáticas desfavorables; 2) pobre preparación del terreno; 3) control deficiente de malezas; 4) inadecuado método de cosecha (hilerado, recolección y trilla o defoliado con cosecha directa); 5) ajuste incorrecto del equipo trillador, que produce trillado incompleto y daño de semillas; y 6) separación inadecuada de semilla y granza (79, 94).

La magnitud de las pérdidas es muy variable. En California, un trabajo que incluyó 15 cosechadoras en variadas condiciones de trabajo, reveló pérdidas de 0,54% (3,3 kg ha<sup>-1</sup>) a 38,7% (215 kg ha<sup>-1</sup>), con una máquina que llegó a perder 398 kg ha<sup>-1</sup> en un lote donde se cosecharon 1.975 kg ha<sup>-1</sup> (57). En experiencias realizadas en el Valle Inferior del Río Colorado con diversas cosechadoras, se registraron pérdidas de 67 a 256 kg ha<sup>-1</sup> (63, 145). Si se considera que una pérdida de 3 a 4 kg ha<sup>-1</sup> es normal, debe tenerse en cuenta que la mala regulación del equipo puede ocasionar pérdidas de semilla mayores que la cantidad que se cosecha.

## Métodos de cosecha

Hay dos métodos básicos de cosecha de semilla de alfalfa: a) hilerado y posterior recolección y trilla con cosechadora provista de recolector, y b) cosecha directa, previa aplicación de un defoliante. La elección de uno u otro método está influenciada por: 1) condiciones climáticas (vientos fuertes, rocíos nocturnos, lluvias); 2) estado de madurez del stand y porcentaje de semillas inmaduras; 3) largo de la estación de cosecha; 4) factores económicos; y 5) costumbres y preferencias de los productores (58, 79, 107, 108, 110). La mayoría de los productores de semilla en la Argentina utilizaba, hasta hace algunos años, el método de hilerado (107, 108, 110, 145), mientras que en los EE. UU. - donde la alfalfa para semilla se cultiva intensamente- cerca de la totalidad de los productores usa el método de cosecha directa.

## Hilerado

El cultivo debe ser hilerado cuando del 70 al 75 % de los carreteles viran al color marrón oscuro, pero antes que las vainas comiencen a abrirse. La operación debe efectuarse durante las horas del día de mayor humedad o cuando las hojas están húmedas por efecto del rocío (137). En general, cuando se deben cosechar cultivos de maduración tardía (con un alto porcentaje de vainas verdes) o cuando la humedad del suelo permanece alta, el hilerado permite obtener mayores rendimientos de semilla que el desecado y cosecha directa; ello se debe a que una alta proporción de semillas verdes completarán su madurez en la hilera (94, 107, 108, 129). La semilla está lista para cosecha cuando el contenido de humedad del follaje es del 12 al 18% (19).

Bajo condiciones óptimas de trabajo, las pérdidas ocurridas en la barra de corte de la



hileradora normalmente no exceden los 5 a 10 kg ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, si la operación se realiza con tiempo muy seco o con fuertes vientos que desparraman las hileras antes de la cosecha, las pérdidas por el hilerado pueden exceder el 50% de la semilla a cosechar (58, 94, 107, 108).

### Cosecha directa

La preparación del cultivo para la cosecha directa se realiza aplicando un desecante químico cuando la casi totalidad de los carreteles se encuentran maduros, es decir, cuando más del 75% de las vainas presenta un color marrón oscuro (94, 145). Para que la aplicación del desecante resulte más efectiva, las plantas deben presentar un crecimiento abierto y erecto y el contenido de humedad del suelo debe ser bajo, a fin de inhibir el rebrote desde la corona (79, 94, 129). Si el cultivo es muy denso y presenta abundante follaje, o si está muy enmalezado, es más eficaz efectuar dos aplicaciones separadas 2-4 días una de otra (94, 107, 108, 110, 114). Una vez que el cultivo se encuentra desecado -con un contenido de humedad en hojas y vainas de 15 a 20% y de 50% en tallos- debe iniciarse inmediatamente la cosecha, a efectos de evitar las grandes pérdidas que a partir de allí pueden ocurrir por desgrane (Figura 8). En áreas con altas temperaturas, la cosecha podrá efectuarse entre 3 y 5 días después de la defoliación, mientras que en áreas con temperaturas más bajas pueden requerirse entre 5 y 12 días de espera (79, 94). Efectuando un correcto ajuste del equipo antes de la cosecha, las pérdidas producidas deberán oscilar sólo de 10 a 20 kg ha<sup>-1</sup> (56, 57, 58, 94).



FIGURA 8: Cosecha directa de alfalfa

■ **Desecantes químicos.** Los desecantes químicos o defoliantes son productos que, aplicados al cultivo, provocan una rápida y homogénea desecación del material verde con el que toman contacto, evitando el corte previo y permitiendo la cosecha directa con la planta en pie. No se translocan en la planta ni afectan el sistema radicular o la corona. Su efecto no es duradero y la planta rebrota normalmente al poco tiempo de aplicado el producto (107, 108, 110, 114, 129). Los más usados son **diquat y paraquat**. Las dosis para aplicaciones terrestres oscilan entre 1 y 4 l ha<sup>-1</sup> de producto formulado, con un volumen de agua no menor a 100 l ha<sup>-1</sup> y con el agregado de un mojante no iónico al 0,10% o 0,50%. Para aplicaciones aéreas, la dosis de producto y mojante son las mismas, pero el volumen de agua debe ser 20 l ha<sup>-1</sup>. La efectividad de estos productos se ve incrementada cuando la aplicación es sucedida por un período de horas sin luz, debido fundamentalmente a una mayor penetración del producto en el vegetal (107, 108). Además de los dos productos citados, en EE.UU. se han usado entre otros: **dinoseb, pentaclorofenol, DNOC y endothal** (75, 79, 107, 108, 110, 114, 129); de todos ellos, el dinoseb fue durante mucho tiempo el de mayor uso para la cosecha directa de semilla de alfalfa (75, 79, 94, 107, 108).

■ **Doble cosecha.** Es posible efectuar dos cosechas de semilla en un mismo ciclo productivo, si se dan ciertas condiciones: larga estación de crecimiento, clima favorable, elección apropiada de la variedad (sin o con muy poco reposo invernal), disponibilidad de polinizadores para ambas cosechas, posibilidad de regar inmediatamente de realizada la primer cosecha, etc. En el país, algunas zonas productoras de Catamarca, La Rioja,

San Juan y Mendoza permiten el manejo de los cultivos para la realización de dos cosechas en la temporada: una a fines de diciembre/principios de enero y la otra a fines de marzo/principios de abril.

La cosecha directa con desecantes químicos ofrece ventajas sobre el método del hilerado. Entre ellas pueden mencionarse: a) reducción de la incidencia de factores ambientales sobre la cantidad y calidad de la semilla obtenida, dado que durante el proceso de secado natural de las hileras las lluvias, el rocío y/o la alta humedad relativa pueden provocar humedecimientos, inicio de procesos fermentativos, ardido y manchado de la semilla, mientras que los vientos pueden originar la diseminación del material cortado (49, 77, 94, 107, 108, 110, 113, 115, 144); y b) reducción significativa de pérdidas de semilla, lo que aumenta los rendimientos; algunas experiencias arrojaron incrementos del 20 al 32% en el rendimiento de semilla a favor de la cosecha directa (49). Por otro lado, cuando el hilerado se realiza en condiciones de baja humedad relativa y en presencia de fuertes vientos, las pérdidas de semilla pueden superar el 50% (54, 94). La cosecha directa con desecantes permite un secado rápido y homogéneo del cultivo, disminuyendo los riesgos del secado natural en el campo y evitando el uso del implemento recolector de las hileras. En ese contexto, en el Valle Inferior del Río Colorado se lograron disminuir las pérdidas de semillas en más del 40% (107, 108, 110). En resumen, esta metodología implica simplificar la operación y tener una mayor seguridad de cosecha. En lo referente a la calidad del producto, se ha comprobado que la aplicación del defoliante no afecta la germinación de las semillas, aunque puede aumentar ocasionalmente el número de semillas duras (114). Tampoco se han observado problemas de manchado ni reducción del valor cultural de la simiente (107, 108, 110). Finalmente, debe mencionarse que los incrementos de rendimiento justifican el relativamente elevado costo del desecante.

### **Adaptación y regulación de la máquina cosechadora**

La mayoría de las cosechadoras convencionales pueden ajustarse y modificarse para efectuar un eficiente trabajo de cosecha de semilla de alfalfa. En lotes hilerados, los mejores resultados se obtuvieron cuando la plataforma de la cosechadora fue equipada con un aparato recolector de lonas que gira a una velocidad 10 a 15% superior a la velocidad de avance de la cosechadora. Esto debe complementarse con la colocación de un tirante de madera sobre la barra de corte, para evitar pérdidas de semilla y carretes sin trillar por el frente de la plataforma (55).

Si se utiliza el método de cosecha directa, se aumenta la eficiencia de la operación colocando una cuchilla de corte vertical en el lateral derecho de la plataforma de corte de la cosechadora, en reemplazo del tradicional divisor de cultivo (Figura 9). Para cultivos implantados en hileras distanciadas, se hace necesario el uso de puntones levantadores. El moline se utiliza solamente en el caso de cultivos ralos. La velocidad del



**FIGURA 9:** Cosechadora con plataforma provista de picos sopladores (air jet) y cuchilla de corte vertical.



sinfín de la plataforma debe reducirse aproximadamente al 50% de la recomendada por el fabricante, a efectos de evitar atoramientos del material que entra en el acarreador. La detallada observación de lo anteriormente citado, además de la precaución de realizar un corte lo más bajo posible cuando el terreno es parejo, minimiza las pérdidas durante la cosecha (55, 57, 64, 94, 108).

La velocidad de avance de la cosechadora está en función de la cantidad de heno y semilla que entra en la máquina. Normalmente, la velocidad de avance más adecuada varía de 1 a 3 km h<sup>-1</sup>, manteniendo así una dosis uniforme de alimentación de material de 45 a 66 kg min<sup>-1</sup> (58). En cuanto al cilindro trillador, el más usado es el de barras estriadas. La abertura cilindro-cóncavo no debe ser mayor de 10 mm en la parte anterior y no menor de 3,1 mm en la posterior (54). Una excesiva velocidad del cilindro es la causa más importante de daño y de bajo poder germinativo de la semilla cosechada; por otro lado, una baja velocidad del cilindro incrementa la pérdida de simiente no trillada. El ajuste de la velocidad del cilindro se hace sobre la base de su velocidad periférica, siendo los valores recomendados 1.280-1.465 m min<sup>-1</sup> para cultivos hilerados y 1.220-1.525 m min<sup>-1</sup> para cultivos desecados (54, 55, 80). Las pérdidas de semilla pueden ser minimizadas con un correcto ajuste del zarandón, del sacapajas y de la intensidad de los vientos y del uso de zarandas apropiadas (19, 56, 80).

### **Pérdidas de semilla en la cosecha**

Se han estudiado diversas técnicas para estimar el total de pérdidas de semilla ocurridas durante la operación de cosecha (55, 57, 58, 64, 81). Tradicionalmente, sólo se consideraron las pérdidas por la parte posterior de la cosechadora, sea como simiente trillada y/o carreteles sin trillar; cuando se utilizan equipos de cosecha minuciosamente ajustados, esos valores de pérdida oscilan entre 1,5 y 30% del total de semilla natural cosechada (55). No obstante lo anterior, estimaciones realizadas en California sobre cultivos desecados han señalado que la mayor parte del total de las pérdidas de semilla ocurren en la plataforma de corte, habiéndose determinado valores de 20 a 60 kg ha<sup>-1</sup> en situaciones normales y de hasta 400 kg ha<sup>-1</sup> en cultivos de altos rendimientos (56). Estas pérdidas pueden producirse en varios sectores de la máquina, a saber:

■ **Cuchilla de corte:** en cultivos desecados, la cuchilla de corte produce un importante desgrane, a punto tal que -para cosechadoras bien reguladas- se estimó que aun las pérdidas mínimas ocurridas en la barra de corte eran siempre más del doble de las verificadas en la cola de la máquina. El uso del sistema de cabezal con picos sopladores («air jet») montados sobre los puntones levantadores, redujo las pérdidas por desgrane en un 46% (Figura 9). (56). Este sistema de cosecha, construido en el país, fue evaluado en el Valle Inferior del Río Colorado, con resultados altamente satisfactorios (105, 106).

■ **Divisor de cultivo de la plataforma de corte:** en una plataforma convencional, el divisor de cultivo produce importantes pérdidas de semilla y de carreteles sin trillar cuando se cosecha un lote desecado. El uso de la cuchilla de corte vertical, en reemplazo del divisor, evitó pérdidas de semilla de hasta 50 kg ha<sup>-1</sup> (54, 105).

■ **Puntón levantador:** durante la cosecha directa con plataforma convencional, una gran cantidad de tallos volcados quedan entre las hileras sin ser cortados, principalmente en cultivos en hileras distanciadas. El uso de puntones levantadores en la plataforma de corte evita estas importantes pérdidas de semilla, que pueden llegar a 150 kg ha<sup>-1</sup> (54, 56, 105).

■ **Daño mecánico de la semilla cosechada:** se denomina semilla dañada a aquella que presenta fracturas, magulladuras, rajaduras y/o roturas en cualquiera de sus componentes (tegumentos, radícula, cotiledones o embrión) que afectan negativamente su poder germinativo (57, 74,145). Durante la cosecha, el daño mecánico de la semilla se produce en el cilindro trillador, sea por: a) excesiva velocidad periférica; b) abertura posterior cilindro-cóncavo demasiado pequeña; c) insuficiente alimentación de paja y granza al cilindro, que no otorga adecuada protección a la semilla; y d) excesivamente bajo contenido de humedad en la semilla. Con un ajuste adecuado del equipo trillador, principalmente de la velocidad del cilindro, el daño de la semilla se puede reducir a valores de sólo el 2% y el poder germinativo puede superar el 90% (54, 63). En el Valle Inferior del Río Colorado, en una experiencia que incluyó ocho cosechadoras, se determinó que el daño mecánico oscilaba entre el 3,5% y el 17,5%; en todos los casos, la causa principal fue la excesiva velocidad del cilindro trillador (63).

### Manejo poscosecha

Una vez realizada la cosecha es aconsejable remover o destruir el rastrojo lo antes posible. El mismo puede ser retirado mediante rastras, enfardado o quemado. Los restos vegetales deben eliminarse para un mejor control de la avispa de la alfalfa. Un riego de poscosecha mantendrá el vigor de las plantas, ayudará en la germinación de las plantas voluntarias y acelerará la putrefacción de las semillas infectadas por la avispa (127).

## Producción de semilla fiscalizada

Las áreas de producción intensiva de forraje de alfalfa -para las cuales se desarrollan los cultivares- son generalmente muy poco aptas para la producción de semilla. En esos ambientes, los rendimientos son muy bajos y la semilla obtenida presenta no sólo mala calidad sino también alta proporción de autofecundaciones, con lo que disminuye su valor genético. Estos hechos hacen que la producción industrial de semilla de alfalfa deba concentrarse en zonas con condiciones ambientales muy distintas a las de su uso forrajero. Sin embargo, después de algunos años, la presión ejercida en esos ambientes a través de la selección natural -que permite sobrevivir sólo a los genotipos mejor adaptados- origina cambios en la identidad genética de los materiales. En ese contexto, si no se restringen el número de generaciones y la cantidad de años posibles de cosecha en cada categoría, el producto obtenido es muy diferente al originariamente implantado.

Sobre la base de los conceptos anteriores, se definió en los EE.UU. una *secuencia de generaciones limitadas* para la producción de semilla certificada, que reconoce cuatro categorías o clases de semilla: a) **prebásica, madre o del criador** («breeder»): producida en el área de adaptación y uso, bajo la supervisión directa del criador u obtentor; b) **básica o fundación**: usualmente, aunque no siempre, producida en el área de adaptación; cuando se multiplica fuera de ésta, deben respetarse la latitud y prácticas de manejo del área de adaptación; además, los lotes deben ser visitados todos los años por el criador, a fin de mantener la pureza fenotípica de la variedad; c) **registrada o 1° multiplicación**: se produce prácticamente en forma exclusiva fuera del área de adaptación; y d) **certificada o 2° multiplicación**: se produce, en forma exclusiva, fuera del área de adaptación y es la semilla destinada al gran cultivo para la producción de forraje.

Atendiendo a que los cultivares de alfalfa son variedades sintéticas (ver Capítulo 5 de esta publicación), cada una de las categorías definidas anteriormente corresponden a las siguientes generaciones de síntesis del sintético («Syn»): prebásica: Syn 1; básica: Syn

2 o 3; registrada y certificada: Syn 3 o 4. Obviamente, esta asignación de las categorías a las distintas generaciones de síntesis es variable y depende de lo especificado por el criador u obtentor para el mantenimiento de la pureza genética del cultivar.

## Normas de certificación

Como ya fuera señalado, la multiplicación de variedades de alfalfa fuera de su área de desarrollo y adaptación, debe contemplar restricciones en cuanto a: 1) generaciones de multiplicación; 2) edad de los lotes; 3) aislamiento de los lotes respecto de otros de la misma especie o variedad; 4) control de plantas extrañas, y 5) exclusión de prácticas culturales y de manejo que puedan tener efectos indeseables en los hábitos de crecimiento, floración y producción de semilla. Todos estos requisitos son esenciales para prevenir cambios genotípicos en las variedades bajo el programa de multiplicación.

En el presente, la alfalfa es la única especie forrajera cuya producción de semilla es de fiscalización obligatoria. Para ello, y en el marco que fija la Ley Nacional de Semillas y Creaciones Fitogenéticas N° 20.247, el Instituto Nacional de Semillas (INASE) -organismo dependiente de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA)- establece para la alfalfa las siguientes normas de certificación (88):

■ **Condiciones del campo** - Los cultivos deberán establecerse en lotes donde no se hayan realizado cultivos de alfalfa en el número de años inmediatamente anteriores según la escala que se detalla a continuación: original: 3 años, registrada: 2 años, y certificada: 1 año.

■ **Aislamiento** - Las distancias mínimas con otros lotes de alfalfa serán:

a) Entre diferentes cultivares:

**Original:** se sembrará con semilla prebásica (madre o «breeder») a 200 m de distancia; **Registrada:** se sembrará con semilla original a 100 m de distancia; y **Certificada:** se sembrará con semilla registrada a 50 m de distancia.

b) Entre lotes de alfalfa del mismo cultivar y diferente categoría:

Se sembrarán a 10 m de distancia. En casos de lotes sembrados sin aislamiento, una franja de 10 m de la categoría superior contigua a la inferior pasará a integrar ésta.

■ **Tolerancia del cultivo** - Se admitirán como máximo las siguientes cantidades de plantas que no correspondan al cultivar inscripto: **Original:** no más de 2 plantas cada 1.000 plantas; **Registrada:** no más de 5 plantas cada 1000 plantas; y **Certificada:** no más de 10 plantas cada 1.000 plantas.

■ **Esquema de multiplicación** - El criador u obtentor indicará las categorías (N° de generaciones) y el número de cosechas dentro de cada generación.

■ **Técnica del cultivo - Original y Registrada:** se deberá sembrar en líneas distanciadas a no menos de 0,65 m ; y **Certificada:** se podrá sembrar a voleo o en líneas; si se siembra al voleo o en líneas a menos de 0,65 m, se fiscalizará el cultivo por no más de tres años.

■ **Tolerancias de germinación y pureza físico-botánica de la semilla de alfalfa de cada categoría:**

Categoría	Mínimo pureza (%)	Mínimo poder germinativo (%)	Máximo materia inerte (%)	Máximo semillas extrañas (%)
Original	99,5	85	0,5	0,5
Registrada o 1 <sup>ra</sup> multiplicación	99,0	85	1,0	1,0
Certificada o 2 <sup>da</sup> multiplicación	98,5	85	1,5	1,5

Número máximo permitido de semillas de otras especies en una muestra de 50 gr:

N° de semillas 50 g muestra <sup>1</sup>	Certificada	Registrada	Original
Sorgo de Alepo ( <i>Sorghum halepense</i> )	4	libre	libre
Abrepuños <sup>(*)</sup>	4	4	libre
Llantén ( <i>Plantago</i> sp.)	4	4	libre
Cardos <sup>(**)</sup>	4	libre	libre
Trébol de olor ( <i>Melilotus</i> sp.) <sup>(***)</sup>	5	3	1
Rúcula ( <i>Eruca sativa</i> )	4	libre	libre
Cuscuta sp.	1	libre	libre
Total	6	6	1

(\*) Abrepuños: *Centaurea melitensis*, *C. calcitrapa* y *C. solstitialis*.

(\*\*) *Carduus acanthoides*, *Carduus pycnocephalus*, *Cirsium vulgare*, *Silybum marianum*, *Cynara cardunculus* y *Onopordon acanthium*.

(\*\*\*) *Melilotus*: *M. alba*, *M. indica* y *M. officinalis*.

## Consideraciones finales

La alfalfa es uno de los pilares de la producción ganadera nacional, de modo que la producción nacional de semilla de variedades adaptadas adquiere una importancia estratégica. Para ello, la actividad debe encararse como una industria especializada y las áreas más aptas deben identificarse en función de los requerimientos edáficos y climáticos del cultivo. Entre los factores clave para la obtención de altos rendimientos, se destacan la existencia de un período relativamente libre de precipitaciones desde floración hasta cosecha, una baja densidad de siembra, el uso de hileras distanciadas, un adecuado control de malezas e insectos perjudiciales, un eficiente manejo del riego, un apropiado uso de polinizadores y una ajustada regulación de la maquinaria de cosecha. Complementariamente, se resume a continuación una serie de consejos generales de manejo:

**Corte de primavera:** conceptualmente, el momento de máxima floración debe coincidir con el período de mayor actividad de los polinizadores, de acuerdo con las particularidades de cada área productora y a las especies de polinizantes presentes. Comúnmente, el corte en primavera es utilizado para controlar malezas, reducir el desarrollo vegetativo del cultivo como consecuencia de excesivos riegos invernales, proveer forraje, o regular la floración. En relación con esto último, el objetivo es diferir la floración para una época más favorable, sea por problemas de polinización o climáticos. Sin embargo, la realización de esta práctica no siempre arroja resultados positivos. En San Juan, por ejemplo, donde los cultivos son conducidos con normalidad para la obtención de dos cosechas, se ha observado una mayor fecundación de flores en plantas que no habían sido cortadas en primavera; además, al adelantarse la floración, se anticipa también la primera cosecha, eludiendo el riesgo de las lluvias de verano. Asimismo, la no realización del corte de primavera ofrece ventajas económicas y prácticas, dado que se suprimen varias labores culturales (corte, rastrillado, enfardado, riego adicional y escardillado).

**Reguladores de crecimiento:** en la producción comercial de semilla de alfalfa no suelen usarse reguladores de crecimiento o estimuladores de la floración. Varios ensayos conducidos en EE.UU. no detectaron efecto beneficioso de estos productos sobre el rendimiento de semilla (127).

**Esquema de manejo:** las diferencias entre las distintas áreas productoras (suelo, clima, infraestructura, tradición, etc.) originaron diferentes sistemas de producción de semilla de alfalfa, que deben ajustarse en cada caso particular. No obstante, es posible resumir algunos esquemas de manejo generales para cada estación del año, tanto para cultivos en implantación (a) como para cultivos establecidos (b):

**Otoño:** a) siembra, riegos, aplicación de herbicidas, raleo del nuevo stand e inscripción de lotes para su certificación; y b) cosecha, eliminación del rastrojo, riego para estimular la germinación de malezas y plantas de resiembra, laboreo entre hileras, raleo de plantas establecidas y reinscripción de lotes para certificación.

**Invierno:** a) riegos y labores entre hileras; b) riegos y aplicación de herbicidas.

**Primavera:** a) y b) riegos, labores entre hileras, aplicación de herbicidas para control de gramíneas, control de insectos e inicio del programa de polinización.

**Verano:** a) y b) riegos (solamente los necesarios), control de insectos, finalización de la incorporación de polinizadores y cosecha.

## Bibliografía

- 1- AMORENA, J. 1993. Manejo del cultivo de alfalfa para semilla en Catamarca. In: IV Jornadas Nacionales de Alfalfa. I Simposio Nacional de Alfalfa. Resúmenes. Villa María, Córdoba, Arg. 20-22 de Octubre, p. 53-54.
- 2- ARAGÓN, J. 1990. Manejo integrado de plagas. In: Primeras Jornadas de Producción de Semilla de Alfalfa, 4-6 de Diciembre. INTA - Centro Regional Cuyo. Mendoza (Argentina). Agro de Cuyo. Jornadas N° 2. p. 34-52.
- 3- ARRETZ, V. P. 1973. Factores de mortalidad de *Megachile rotundata* (Fabricius) en Chile. Revista Chilena de Entomología 7:59-78.
- 4- ARRETZ, V. P. y E. M. MARTÍNEZ. 1988. Utilización de *Megachile rotundata* Fab. en la producción de semilla de alfalfa INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Boletín de Divulgación N° 10, 20 p.
- 5- ARRETZ, V. P. y E. M. MARTÍNEZ. 1980. Utilización de *Megachile rotundata* en la producción de semilla de alfalfa. In: Simposio de Producción de Semilla de Alfalfa. IDIA N° 391-392: 53-63.
- 6- ARRETZ, V. P. y E. M. MARTÍNEZ. 1979. Manejo y utilización de insectos polinizadores en la producción de semilla de alfalfa en la Argentina. Informe Proyecto Alfalfa FAO-INTA. Argentina. 75/006, 36 p.
- 7- ARRETZ, V. P. y E. M. MARTÍNEZ. 1978. Manejo y utilización de *Megachile pacifica* en la producción de semilla de alfalfa en la Argentina. Informe Proyecto Alfalfa FAO-INTA. Argentina. 75/006, 63 p.
- 8- ARRETZ, V. P. y L. D. ARACENA. 1975. Utilización de *Megachile rotundata* Fab. en la polinización de la alfalfa. Facultad de Agronomía. Universidad de Chile. Boletín Técnico N° 40, pp. 15-37.
- 9- BACON, O. G. 1980. Control integrado de las plagas en semilleros de alfalfa. In: Simposio de Producción de Semilla de Alfalfa. IDIA N° 391-392: 34-42.
- 10- BACON, O. G., V. E. BURTON, J. W. MAC SWAIN, V. L. MARBLE, W. P. STANGER and R.W. THORP. 1965. Pollinating alfalfa with leaf cutting bees. California University Agric. Ext. Service. AXT 160, 13 p.
- 11- BARBOSA, M. y M. T. AGUIAR 1983. Estudio de la fauna polinizadora de la alfalfa. Informe preliminar temporada 82/83. Ministerio de Asuntos Agrarios. La Plata, Provincia de Buenos Aires, 3 p.
- 12- BOHART, G. E. 1957. Pollination of Alfalfa and Red Clover. Ann. Rev. Ent. 2: 355-380.
- 13- BOHART, G. E. 1972. Management of wild bees for the pollination of crops. Ann. Rev. Ent. 17: 287-312.
- 14- BOHART, G. E. 1962. How to manage the leaf cutting bee for alfalfa pollination. Utah Agric. Exp. Station. Circ. Bull. 97, 7 p.
- 15- BOHART, G. E. and W. P. NYE. 1976. Insect pollinators of alfalfa grown for seed. Insects and nematodes associated with alfalfa in Utah. Utah Agric. Exp. Station. Bull. 494, pp. 33-45.



- 16- BOLTON, J. L. 1956. Alfalfa seed production in the Prairie Provinces. Canada Dept. Agric. Public. N° 984, 12 p.
- 17- BRASE, R. J. 1987. Growing alfalfa seed on a perched water table. *In: Proc. Alfalfa Seed Prod. Symp.* Fresno, California. Univ. of Calif. Coop. Ext., pp. 49-51.
- 18- BRUNO, S. B. 2004. Intoxicación con plaguicidas. *Ciencia y Abejas* N° 50 (Diciembre), pp. 5-9.
- 19- BUNNELLE, P. R., L. G. JONES and J. R. GOSS. 1954. Seed harvest some grass and legume crops. *Agr. Eng.* 35: 554-558.
- 20- BURRIL, L. C., W. S. BRAUNWORTH JR., R. D. WILLIAM, R. PARKER, D. G. SWAN and D. W. KIDDER. 1988. Pacific North West Weed Control Handbook. Extension Services of Oregon Sate Univ., Washington State Univ. & Univ. of Idaho, pp. 68-74.
- 21- CABRAL, D. R., J. A. PEREYRA y M. A. OCHOA. 1985. Alfalfa. Producción de semillas. INTA - Dirección Regional Mendoza (Argentina). Folleto N° 78, 24 p.
- 22- CASTRO, T. S., M. A. LIOTTA, y H. AMAT. 1990. Producción de semilla de alfalfa con diferentes regímenes de riego y método de cosecha. *In: Primeras Jornadas de Producción de Semilla de Alfalfa*, 4-6 de Diciembre. INTA - Centro Regional Cuyo. Mendoza (Argentina). *Agro de Cuyo. Jornadas* N° 2, pp. 22-28.
- 23- CRAGNAZ, A. 1990. Necesidades y perspectivas de la semilla de alfalfa en las diferentes zonas de consumo. *In: Primeras Jornadas de Producción de Semilla de Alfalfa*. INTA-Centro Regional Cuyo, Mendoza (Argentina). Diciembre 4-6. *Agro de Cuyo, Jornadas* N° 2, pp. 6-10.
- 24- CUDNEY, D. W. and S. ORLOFF. 1988. Rhizome johnsongrass control in established alfalfa. *In: Western Society of Weed Science. Research Progress Report*. Fresno, California, pp. 150-151.
- 25- DAWSON, J. H. 1986a. Dodder control in alfalfa. *In: Proc. 38<sup>th</sup> Annual California Weed Conference*. Fresno, California. p. 149-153.
- 26- DAWSON, J. H. 1986b. Glyphosate controls attached dodder selectivity in alfalfa. *In: Proc. Western Soc. of Weed Science*, pp. 208-209.
- 27- DAWSON, J. H. and C. M. RINCKER. 1982. Weeds in new seedlings of alfalfa (*Medicago sativa*) for seed production: Competition and weed control. *Weed Sci.* 30: 20-25.
- 28- DAWSON, J. H., F. M. ASHTON, W. V. WELKER, J. R. FRANK and G. A. BUCHANAN. 1984. Dodder and its control. *Agric. Res. Serv. and Ext. Serv. USDA Farmer's Bull.* N° 2276, 24 p.
- 29- DE SANTIS, L. 1974. Megaquilas polinizadoras de la zona de Bellocq (Bs.As., República Argentina). *Ministerio de Asuntos Agrarios* 1 (2): 9-11.
- 30- DELL'AGOSTINO, E. 1993. La producción de semillas forrajeras. Su perspectiva en la Argentina. *Revista de la Cámara de Semilleristas de la Bolsa de Cereales (Argentina)* 6 (20): 11-13.
- 31- DELL'AGOSTINO, E. 1990. Control de malezas en el cultivo de alfalfa para semilla. *In: Primeras Jornadas de Producción de Semilla de Alfalfa*. INTA-Centro Regional Cuyo. Mendoza (Argentina). Diciembre 4-6. *Agro de Cuyo. Jornadas* N° 2, pp. 68-72.
- 32- DELL'AGOSTINO, E., C. J. MOSCHETTI y E. M. MARTÍNEZ. 1987. Producción de semilla de alfalfa en el valle bonaerense del Río Colorado. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). *Boletín de Divulgación* N° 8, 10 p.
- 33- DOVRAT, A., D. LEVANON, and M. WALDMAN. 1969. Effect of plant spacing on carbohydrates in roots and on components of seed yield in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Crop Sci.* 9: 33-34.
- 34- DUGHETTI, A. C. 1981. Contribución a la evaluación del daño de *Bruchophagus roddi* Gussakovskii (Hymenoptera, Eurytomidae) en semilla de alfalfa. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). *Informe Técnico* N° 22, 20 p.
- 35- DUGHETTI, A. C., E. M. MARTÍNEZ, y J. M. GARCÍA. 1982. Control integrado de plagas en el cultivo de alfalfa para semilla. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). *Boletín de Divulgación* N° 5, 9 p.
- 36- DUGHETTI, A. C. y C. J. MOSCHETTI. 1990. Control químico de trips en un cultivo de alfalfa para semilla. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). *Informe Técnico* N° 33, 8 p.
- 37- ECHEVERRÍA, E. M. 1993a. Determinación del potencial de semilla de cultivares de alfalfa. *In: IV Jornadas Nacionales de Alfalfa y I Simposio Nacional de Alfalfa*. Resúmenes. Villa María. Córdoba. Argentina. Octubre 20-22, pp. 57-58.
- 38- ECHEVERRÍA, E. M. 1993b. Producción de semilla de alfalfa en áreas bajo riego: Potenciales de rendimiento y principios claves en la producción. *In: Primeras Jornadas Nacionales de Producción de Semillas y Mejoramiento Genético de Especies Forrajeras*. Conferencias y Resúmenes. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina, pp. 31c-33c.



- 39- ECHEVERRÍA, E. M. y C. E. CEREZO. 1990. Producción de semilla de alfalfa en la Provincia de San Juan: relevamiento de cultivos. *In: Primeras Jornadas de Producción de Semilla de Alfalfa*. INTA-Centro Regional Cuyo. Mendoza (Argentina). Diciembre 4-6. Agro de Cuyo. Jornadas N° 2, pp. 16-20.
- 40- ERICKSON (JR) E. H. and W. T. WILSON. 1972. Management of the alfalfa leaf-cutter bee in Colorado. Colorado State University. Bull. 552, 17 p.
- 41- ERWIN, D. C. and D. LEHMA. 1974. Summer stand depletion of alfalfa in the low desert Valleys of Southern California. *In: Proc. California and Arizona Low Desert Alfalfa Symp.*, pp. 58-64.
- 42- FICK, G. W., D. A. HOLT, and D. G. LUGG. 1988. Environmental physiology and crop growth. *In: Hanson, A.A., D.K. Barnes and R.R. Hill (Ed.). Alfalfa and Alfalfa Improvement*. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI, USA. Agronomy Series N° 29, Cap. 5, pp. 163-194.
- 43- FISHER, W. B. 1980. Control de malezas en la producción de semilla de alfalfa. *In: Simposio de Producción de Semilla de Alfalfa*. IDIA N° 391-392: 23-34.
- 44- FISHER, B. B. 1977. Evaluation of herbicides for vegetation management in alfalfa seed production. University of California. Coop. Ext. Fresno. Runcina. Vol. 16. 33 p.
- 45- FRANKLIN, W. W. 1951. Insects affecting alfalfa seed production in Kansas. Kansas Agric. Exp. Station Tech. Bull, 70 p.
- 46- FREE, J. B. 1970. Insects pollinations of crops. London Acad. Press, 544 p.
- 47- GARCÍA, J. M. y E. M. MARTÍNEZ. 1985. Plaguicidas: cómo evitar el daño en abejas melíferas. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Boletín de Divulgación N° 7, 5 p.
- 48- GOLDMAN, A y A. DOVRAT. 1980. Irrigation regime and honey bee activity as related to seed yield in alfalfa. *Agron. J.* 72: 961-965.
- 49- GONZÁLEZ, L. E. M. 1959. Los defoliantes en la cosecha de semilla de alfalfa. Lucha contra la Maleza. *Revista Arg. de Agronomía - Suplemento N° 3*: 144-145.
- 50- GONZÁLEZ, R. 1980. Insectos polinizadores y ecología de la polinización. *In: Simposio de Producción de Semilla de Alfalfa*. IDIA N° 391-392: 43-48.
- 51- GOPLEN, B. P. 1976. Row spacing for alfalfa seed production. *Agric. Canada Res. Branch. Forage Notes 21 (1)*: 6.
- 52- GOPLEN, B. P. 1975. Wide row spacing for alfalfa seed production is important. *Agric. Canada Res. Branch. Forage Notes 13 (20)*: 18-19.
- 53- GOPLEN, B. P. and L. G. SONMOR. 1976. Heavy irrigation reduces alfalfa seed yields. *Agric. Canada Res. Branch. Forage Notes 21(1)*: 12-14.
- 54- GOSS, J. R. 1979. Harvesting alfalfa seed. *In: Curso de Producción de Semilla de Alfalfa*. Proyecto Programa Alfalfa FAO-INTA. Argentina, 15 p.
- 55- GOSS, J. R. 1975. Combine operation and adjustment for harvesting alfalfa seed. *In: Proc. Alfalfa Seed Prod. Symp.* Fresno, California. University of California. Coop. Ext., pp. 18-25.
- 56- GOSS, J. R., R. KUMAR, and R. SHEESLEY. 1977. Header losses and reduction in alfalfa seed harvesting. *American Society of Agronomy. Eng. Paper N° 77-1554*, 12 p.
- 57- GOSS, J. R., R. KUMAR, R. SHEESLEY and R. G. CURLEY. 1977. Improvement of harvesting alfalfa seed in California. *In: Proc. Alfalfa Seed Prod. Symp.* Fresno, California. University of California. Coop. Ext., pp. 20-31.
- 58- GOSS, J. R., R. SHEESLEY, R. KUMAR and J. J. MEHLSCHAU. 1979. Harvest equipment innovations for saving alfalfa seed. *In: Proc. Alfalfa Seed Prod. Symp.* Fresno, California, Univ. of California Coop. Ext., pp 24-33.
- 59- HACQUET, J. 1986. La Luzerne Porte-graine. 1° Supplément au Bulletin Semences N° 94 de la FNAMAS. Centre Technique des Semences, 28 p.
- 60- HAGEMANN, R. 1987. Alfalfa seed production in Imperial Valley. *In: Proc. Alfalfa Seed Prod. Symp.* Fresno, California. University of California. Coop. Ext., pp. 60-63.
- 61- HAGEMANN, R., C. F. EHLIG, M. J. HUBER, R. Y. REYNOSO and L. S. WILLARDSON. 1978. Effect of irrigation frequencies on alfalfa seed yield. *California Agriculture 32 (10)*: 17-18.
- 62- HAGEMANN, R., L. S. WILLARDSON, A. W. MARSH, and C. F. EHLIG. 1975. Irrigating alfalfa seed yield for maximum yield. *California Agriculture 29 (11)*: 14.
- 63- HARMOND, J. E. 1974. Informe sobre trilla y procesamiento de semilla de alfalfa. Consultoría de Proyecto - Programa Alfalfa FAO-INT A. Argentina, 12 p.
- 64- HARMOND, J. E., J. E. SMITH and J. K. PARK. 1961. U.S. Departament of Agriculture. Yearbook of Agriculture, pp. 181-188.

- 65- HART, R. H. 1980. Spacing and competition among high and low yielding clones of alfalfa. *Can. J. Plant Sci.* 60: 1157-1162.
- 66- HELY, F. W. and M. ZORIN 1977. Influence of temperature and humidity on tripping of lucerne flowers. *Aust. J. Agric. Res.* 28: 1015-1027.
- 67- HENDERSON, D. W. and H. YAMADA. 1979. Irrigation management for alfalfa seed production. Univ. California, West Side Field Stn. Annual Report.
- 68- HIJANO, E. 1993. La importancia de la alfalfa en la Argentina. *In: IV Jornadas Nacionales de Alfalfa. I Simposio Nacional de Alfalfa. Resúmenes.* Villa María, Córdoba. Argentina. Octubre 20-22, Prólogo.
- 69- HOBBS, G. A. 1967. Domestication of Alfalfa Leaf Cutter Bees. *Can. Dep. Agr. Pub.* 1313, 19 p.
- 70- ITRIA, C. D. y C. BARIGGI. 1980. Producción de semilla de alfalfa en la Argentina. *In: Simposio de Producción de Semilla de Alfalfa.* IDIA N° 391-392: 1-4.
- 71- JOHANSEN, C. A. and J. EVES. 1967. Enemies of the leaf-cutting bee and their control. Washington State University, Coop. Ext. Serv. Ext. Man. 2631, 4 p.
- 72- JOHANSEN, C. A. and J. EVES. 1966. Parasites and Nest Destroyers of the Alfalfa Leaf-Cutting Bee. Washington State University. Agric. Exp. Sta. Circular 469, 11 p.
- 73- JOHANSEN, C. A., F. C. KLOSTERMEYER, J. D. EVES and H. S. GERBER. 1969. Suggestions for alfalfa leafcutter bee management. Washington State University. Ext. Serv. E. M. 2775 (Rev), 8 p.
- 74- JONES, L. G. 1978. Harvester seed damage. *In: 9<sup>th</sup> Annual Interstate Alfalfa Seed Growers Conference and Trade Fair.* Pasco, WA, January 23-25, pp 14-19.
- 75- JONES, L. G. 1954. Chemicals for pre-harvest drying or spray curing. University of California. Agric. Ext. Serv. (mimeo), 8 p.
- 76- JONES, L. G. and C. P. POMEROY. 1962. Effect of fertilizer, row spacing and clipping on alfalfa seed production. *California Agriculture* 16 (2): 8-10.
- 77- JONES, L. G. and P. R. BUNNELLE 1953. Direct combining of small seeded legumes. University of California. Agric. Eng. Dept. (mimeo), 6 p.
- 78- JONES, L. G. and R. A. KEPNER. 1954. Recent advances in legumes seed harvesting techniques. University of California. Agric. Dept. (mimeo), 12 p.
- 79- JONES, L. G. and V. L. MARBLE. 1961. Alfalfa seed production. University of California. Agr. Dept. Agronomy Notes (mimeo), 5 p.
- 80- JONES, L. G., R. A. KEPNER, R. BAINER, and J. P. FAIRBANK. 1950. Alfalfa seed harvesting. *California Agriculture* 8 (4): 8-9.
- 81- KLEIN, L. M., J. E. HARMOND and W. M. HURST. 1961. Seed losses in harvesting some grass and legume crops in the Willamette Valley, Oregon, 1953-1954. U.S.DA - ARS 42-48, 20 p.
- 82- KLOSTERMEYER, E. C. 1964. Using alkali bee and leafcutting bee to pollinate alfalfa. Washington Agr. Exp. Sta. Circular 442, 8 p.
- 83- KOLAR, J. J. and TORELL P. J. 1970. Row planting for alfalfa seed production. Agric. Exp. Sta. Univ. of Idaho. Idaho Current Information Series N° 122, 4 p.
- 84- KOLAR, J. J., H. R. ROYLANCE and J. R. RIDLEY 1968. Cultural practices in alfalfa seed production. Agric. Exp. Sta. Univ. of Idaho. Idaho Current Information Series N° 65, 4 p.
- 85- KROGMAN, K. K. and E. H. HOBBS. 1977. Irrigation management of alfalfa for seed. *Can. J. Plant Sci.* 57: 891-896.
- 86- KRUNIC, M. D. and H. HINKS. 1972. Voltinism in *Megachile rotundata* (Megacilidae: Hymenoptera) in Southern Alberta. *Can. Ent.* 104: 185-188.
- 87- LAEMMLEN, F. 1987. Diseases affecting alfalfa seed production in Imperial Valley. *In: Proc. Alfalfa Seed Production Symp., California, University of California.* Coop. Ext., pp. 64-65.
- 88- LEY NACIONAL DE SEMILLAS Y CREACIONES FITOGENÉTICAS N° 20.247 (Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación) – Disposición SNS 28/86 y 12/88 - Resolución INASE 169/93 y 2/99.
- 89- LINSLEY, E. G. 1958. The ecology of solitary bees. *Hilgardin* 27: 543-599.
- 90- LOVATO, A. and M. MONTANARI. 1987. Influence of row spacing and sowing rates on lucerne (*Medicago sativa* L.) seed production. Abstracts International Seed Conference. Tune, Denmark, June 15-19, 6 p.
- 91- MANGLITZ, G. R. and R. H. RATCLIFFE. 1988. Insects and mites. *In: Hanson, A.A., D.K. Barnes and R.R. Hill (Ed.) Alfalfa and Alfalfa Improvement.* ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI, USA. Agronomy Series N° 29, Ch. 22, pp. 671-704.

- 92- MARBLE, V. L. 1987. Management of alfalfa for seed production. *In: Abstracts International Seed Conference*. Tune, Denmark, June 15-19, 5 p.
- 93- MARBLE, V. L.. 1980. Manejo del cultivo de alfalfa para producción de semilla. *In: Simposio de Producción de Semilla de Alfalfa*. IDIA N° 391-392: 6-23.
- 94- MARBLE, V. L. 1976. Producing alfalfa seed in California. Div. of Agr. Sci. University of California. Leaflet 2383, 16 p.
- 95- MARBLE, V. L., L. H. OCHOA y C. J. MOSCHETTI. 1986. Producción de semilla de alfalfa. *In: C. Bariggi, C. D. Itria, V. L. Marble y J. M. Brun (eds) Investigación, Tecnología y Producción de Alfalfa*. INTA, Buenos Aires. Colección Científica. Cap. 11, pp. 371-442.
- 96- MARTÍNEZ, E. M. 1991. La abeja cortadora de hojas (*Megachile rotundata*). Secuencia o patrón de desarrollo bajo condiciones de manejo. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Hoja Informativa N° 26, 4 p.
- 97- MARTÍNEZ, E. M. 1988. Polinización de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Utilización de abeja melífera (*Apis mellifera* L.). INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Hoja Informativa N° 8, 5 p.
- 98- MARTÍNEZ, E. M. 1987. Polinización. Conceptos básicos para productores de semilla y apicultores del V.B.R.C. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Boletín de Divulgación N° 9, 8 p.
- 99- MARTÍNEZ, E. M., A. C. DUGHETTI, J. M. GARCIA, M. BARBOSA, y M. T. AGUIAR. 1989. Alfalfa más abejas silvestres igual a mayor producción de semilla. Convenio INTA - Ministerio de Asuntos Agrarios. Buenos Aires. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Trifolio.
- 100- MARTÍNEZ, E. M., A. C. DUGHETTI, J. M. GARCIA, M. BARBOSA, y M. T. AGUIAR. 1988. Abejas Nativas, su importancia en la producción de semillas de alfalfa. INTA-EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Hoja Informativa N° 9, 4 p.
- 101- MARTÍNEZ, E. M., C. J. MOSCHETTI y E. DELL'AGOSTINO. 1980. Manejo de insectos polinizadores en la producción de semilla de alfalfa. *In: IX Seminario Panamericano de Semillas*. Bolsa de Cereales. Buenos Aires, Argentina, 9 p.
- 102- MARTÍNEZ, E. M., J. M. GARCIA, M. BARBOSA y M. T. AGUIAR. 1983. Estudio del aporte polínifero en colmenas, como método para evaluar la incidencia de la floración competitiva en un cultivo de alfalfa para semilla. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Informe Técnico N° 25, 15 p.
- 103- Mc GREGOR, S.E. 1976. Insect pollination of cultivated crop plants. Agriculture Service. Unites States Department of Agriculture, 411 p.
- 104- MINACCI, P. F., S. L. LEE and R. A. MORSE. 1965. New leaf cutter bee. Their introduction to New York State. New York State Agr. Exp. Sta. Far. Res. 31 (3): 6-7.
- 105- MOSCHETTI, C. J. 1994. El INTA PROPECO y la cosecha de semilla de alfalfa mediante la incorporación a la cosechadora de un cabezal con equipo de aire. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Hoja Informativa N° 38, 6 p.
- 106- MOSCHETTI, C. J. 1993. Presentación de un prototipo experimental de cabezal con equipo de aire, cuchilla de corte vertical y puntones levantadores para la cosecha de semilla de alfalfa. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Carpeta INTA PROPECO, 9 p.
- 107- MOSCHETTI, C. J. y E. DELL'AGOSTINO. 1990. La cosecha directa de semilla de alfalfa. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Hoja Informativa N° 16, 4 p.
- 108- MOSCHETTI, C. J. y E. DELL'AGOSTINO. 1982. La cosecha de semilla de alfalfa. Revisión Bibliográfica. INTA EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Informe Técnico N° 24, 13 p.
- 109- MOSCHETTI, C. J. y E. DELL'AGOSTINO. 1980. Consideraciones y resultados obtenidos en la producción de semilla de alfalfa en el valle bonaerense del Río Colorado. *In: Simposio de Producción de Semilla de Alfalfa*. IDIA N° 391-392: 78-87.
- 110- MOSCHETTI, C. J. y E. DELL'AGOSTINO. 1979. El uso de desecantes en la cosecha de semilla de alfalfa. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina). Boletín Técnico. N° 18, 12 p.
- 111- MOSCHETTI, C. J., E. DELL'AGOSTINO y J. RIVAS. 1994. Cuscuta: Evaluación del herbicida pendimetalín (Herbadox, E. 33%) para su control en cultivos de alfalfa para semilla. INTA - EEA Hilario Ascasubi (Argentina), 5 p.
- 112- MOSCHETTI, C. J. y E. M. MARTINEZ. 1988/93. Informes Anuales, Proyecto N° 62-8512. «Proyecto para Incrementar la Producción de Semilla de Alfalfa en el valle bonaerense del Río Colorado». Proyecto Regional INTA EEA Hilario Ascasubi (Argentina), 55 p.
- 113- MUR, D. R 1974. Semilla de alfalfa: La desecación química. Renovación. Rivadavia (Est. América). Bol. N° 36, 1 p.

- 114-NAVARRETE, S. E. 1967. Usos de desecantes en producción de semilla de trébol rosado. Facultad de Agronomía. Universidad Católica de Chile, 42 p.
- 115-NAVARRO, L. N. 1958. Cosecha de semilla de alfalfa. *Revista de Agricultura y Ganadería* (Chile) 4 (13): 5-7.
- 116-OCHOA, L. H. 1980. La producción de semilla de alfalfa en la Provincia de Santiago del Estero. *In: Simposio de Producción de Semilla de Alfalfa*. IDIA N° 391-392: 78-87.
- 117-OLMSTEAD, A. L. and B. W. WOOTEN. 1987. Bee pollination and productivity growth: the case of alfalfa. *Amer. J. Agr. Econ.* 69: 56-63.
- 118-ORLOFF, S. B. 1985. Dodder: the problem and its control. *In: 15<sup>th</sup> Calif. Alfalfa Symposium*, Fresno, California, pp. 82-89.
- 119-ORLOFF, S. B., R. N. VARGAS, D. W. CUDNEY, W. M. CANEVARI and J. SCHMIERER. 1989. Dodder control in alfalfa. *California Agriculture* 43 (4): 30-31.
- 120-PEDERSON, M. W., G. E. BOHART, M. D. LEVIN, W. P. NYE, S. A. TAYLOR and J. L. HADDOCK. 1959. Cultural practices for alfalfa seed production. *Utah Agric. Exp. Station. Bull.* 408.
- 121-PODUSKA, B. 1980. Manejo de abejas melíferas para la producción de semilla de alfalfa. *In: Simposio de Producción de Semilla de alfalfa*. IDIA N° 391-392: 49-53.
- 122-PODUSKA, B. 1977. Honey bee colony certification. *In: Proc. Alfalfa Seed Production Symp.* Fresno. University of California Coop. Ext. Bull. 13, 14 p.
- 123-RAINERO, H. P., N. E. RODRIGUEZ, J. A. LOPEZ, y O. P. SIGNORILE. 1993. Control de malezas en alfalfa. *In: Alfalfa. Protección de la pastura*. INTA - Centro Regional Cuyo. Mendoza (Argentina). Agro de Cuyo, Manuales N° 4, pp. 77-112.
- 124-REVISTA DE LA CAMARA DE SEMILLERISTAS DE LA BOLSA DE CEREALES DE BS. AS. (GÉNESIS). 1996-2005. Importación de semillas forrajeras y Producción fiscalizada de semilla de forrajeras. N° 30: 29; N° 36: 40; N° 38: 22-23; N° 39: 20-22; N° 40: 33; N° 41: 33-34; N° 42: 31-34; N° 43: 33-34; N° 44: 34; N° 45: 34; N° 46: 32-34; N° 47: 39; N° 48: 37; N° 49: 43; N° 50: 33-34; y N° 51: 46-47.
- 125-RINCKER, C. M. 1979. Alfalfa seed production in the Pacific Northwest. *In: Proc. Ann. Farm Seed Conf. Am. Seed Trade Assoc.* Kansas City, MT, pp. 13-19.
- 126-RINCKER, C. M. 1976. Alfalfa seed yields from seeded rows vs. spaced transplants. *Crop Sci.* 16: 268-270.
- 127-RINCKER, C. M., C. A. JOHANSEN and K. J. MORRISON. 1987. Alfalfa Seed Production in Washington. Washington State University, Coop. Ext., 12 p.
- 128-RINCKER, C. M., V. L. MARBLE, D. E. BROWN and C. A. JOHANSEN. 1988. Seed Production Practices. *In: Hanson, A.A., D.K. Barnes and R.R. Hill (Jr) (eds). Alfalfa and Alfalfa Improvement*. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI, USA. Agronomy Series N° 29, Ch. 32, pp. 985-1021.
- 129-ROYLANCE, H. B. 1968. Chemical curing of alfalfa seed crops. University of Idaho. Idaho Current Information Series N° 69, 2 p.
- 130-SCHABER, B. D. and R. ENTZ. 1988. Effect of spring burning on insects in seed alfalfa fields. *J. Econ. Entomol.* 81 (2): 668-672.
- 131-SHEAFFER, C. C., C. B. TANNER and M. B. KIRKHAN. 1988. Alfalfa water relations and irrigation. *In: Hanson, A.A., D. K. Barnes, R. R. Hill (Jr) (eds). Alfalfa and Alfalfa Improvement*. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI, USA. Agronomy Series N° 29, Ch. 11, pp. 373-409.
- 132-SHEESLEY, B. 1987. Irrigation and pesticide effects upon honeybee visitation in alfalfa seed. *Forage & Seed Facts*. University of California. Coop. Ext. 12 (1): 7.
- 133-SHEESLEY, B. 1977. Producing alfalfa seed in a water-short year. *In: Proc. Calif. Alfalfa Seed Prod. Symp.* Fresno, California. University of California. Coop. Ext. Davis, pp. 32-34.
- 134-SHEESLEY, B. and W. D. MC CLELLAN. 1978. Alfalfa hay: seedbed preparation and establishment. Coop. Ext. Fresno County. University of California. Leaflet.
- 135-SMITH, D. L. 1988. The Seed Industry. *In: Hanson, A.A., D.K. Barnes, R.R. Hill (Jr.) (eds). Alfalfa and Alfalfa Improvement*. SAS-CSSA-SSSA. Madison, WI, USA. Agronomy Series N°29, Ch. 33, pp. 1023-1036.
- 136-SMITH, D. L., A. K. DOBRENZ and M. H. SCHONHORST. 1982. Response of seedling alfalfa plants to high levels of chloride-salts. *In: Proc. 28<sup>th</sup> Alfalfa Improvement Conf.* University of California, Davis, p. 58.
- 137-SMITH, D. L. and B. A. MELTON. 1967. Alfalfa seed production studies. *New Mexico Agric. Exp. Sta. Bull.* 516, 12 p.
- 138-STANGER, W. and R. W. THORP. 1974. Honey bees in alfalfa pollination. *California University Coop. Ext.* AXT 228, 4 p.



- 139-STEPHEN, W. P. 1972. Studies in crop pollination. US Dep. Sci. Aff. Gen. Sec. O.A.S. N° 1, 76 p.
- 140-STEPHEN, W. P. 1962. Propagation of leafcutter bee for alfalfa seed production. Oregon Agric. Exp. Station Bull. 586, 16 p.
- 141-STEPHEN, W. P. 1961. Artificial Nesting sites for the Propagation of the Leafcutter Bee *Megachile (Eutricharaea) rotundata* for Alfalfa Pollination. J. Econ. Entomol. 54 (5): 989-993.
- 142-STEPHEN, W. P. and C. E. OSGOOD. 1965a. The induction of emergence in the leafcutter bee, *Megachile rotundata*, an important pollinator of alfalfa. J. Econ. Entomol. 58: 284-286.
- 143-STEPHEN, W. P. and P. F. TORCHIO. 1961. Biological notes on the leafcutter bee, *Megachile (Eutricharaea) rotundata*. Pan. Pac. Ent. 37: 85-93.
- 144-STEPHEN, W. P., G. E. BOHART and P. F. TORCHIO. 1969. The biology and external morphology of bees. Oregon State University. Corvallis Agric. Exp. Station Bull., 140 p.
- 145-STEPHEN, W. P. y C. J. MOSCHETTI. 1976. La cosecha de semilla de alfalfa. Proyecto Programa Alfalfa FAO-INTA. Boletín N° 1, pp. 6-19.
- 146-TAYLOR, S. A. and V. L. MARBLE. 1986. Lucerne irrigation and soil water use during bloom and seed set on red-brown earth in South-Eastern Australia. Aust. J. Exp. Agric. 26: 577-81.
- 147-TAYLOR, S. A., J. L. HADDOCK and W. PEDERSEN. 1959. Alfalfa irrigation for maximum seed production. Agron. J. 51: 357-360.
- 148-TESON, A. y E. DAGOBERTO. 1972. Bionomía de la polinización de los alfalfares de la Provincia de Buenos Aires. Informe Preliminar Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Bs.As., 3 p.
- 149-TESON, A., E. DAGOBERTO, M. LIZARRALDE y M. LOIACONO. 1976. Himenópteros polinizadores de la zona de Bellocq (Buenos Aires, República Argentina). Rev. Ciencia y Abejas 2 (8): 33-40.
- 150-TICKES, B. and M. OTTMAN. 1991. Evaluation of coated alfalfa seed in Arizona. Forage and Seed Facts 16 (2): 19.
- 151-TYSDAL, H. M. 1946. Influence of tripping, soil moisture, plant spacing, and lodging on alfalfa seed production. Agron. J. 38: 515-535.
- 152-U.S.D.A. - AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. 1960. Harvesting seed of grass and small seeded legumes. ARS Special Report 22-59, 10 p.
- 153-VANCE, C. P., G. H. HEICHEL and D. A. PHILLIPS. 1988. Nodulation and simbiotic dinitrogen fixation. In: Hanson, A.A, D.K. Barnes and R.R. Hill (Jr.) (eds) Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI, USA. Agronomy Series N° 29, Ch. 7, pp. 229-257.
- 154-VIEYRA, C. 1993. Efectos del sistema de siembra en la producción de semilla de alfalfa (*Medicago sativa* L.). In: IV Jornadas Nacionales de Alfalfa y I Simposio Nacional de Alfalfa. Resúmenes. Villa María, Córdoba, Argentina. Octubre 20-22, p. 59.
- 155-VILLATA, C. A. 1993. Bioecología y control de plagas en alfalfa. In: Alfalfa. Protección de la pastura. INTA - Centro Regional Cuyo. Mendoza (Argentina). Agro de Cuyo, Manuales N° 4, pp. 32-76.
- 156-WADDINGTON, J. 1977. Effects of applying 2,4-DB to alfalfa grown for seed. Agric. Canada - Melfort Res. St. Forage Notes 22 (1 ): 68-69.
- 157-WATERS, N. D. 1966. Parasites, predators and nest destroyers of the alfalfa leafcutter bee. Univ. of Idaho, Agric. Ext. Serv., Current Infor. Series 25, 3 p.
- 158-WATERS, N. D. and H. W. HOMAN. 1975. Managing alfalfa leafcutter bees in Idaho. Idaho Cooperative Extension Service Bull. 538, 15 p.
- 159-YAMADA, H., D. W. HENDERSON, R. J. MILLER and R. M. HOOVER 1973. Irrigation water management for alfalfa seed production. California Agriculture 27 (12): 6-7.

## Enfermedades de la alfalfa y abordaje molecular de la selección por resistencia

*Ing. Agr. (Dr.) Jorge O. Gieco*  
*Lic. Microb. (MSc) María V. Moreno*  
*Ing. Agr. (PhD) Daniel H. Basigalup*  
EEA Manfredi – INTA





## Introducción

La productividad y la persistencia de la alfalfa se ven afectadas por numerosos factores de tipo abiótico (salinidad, acidez, sequía, anegamiento, niveles tóxicos de aluminio, etc.) y de tipo biótico. Dentro de éstos últimos, las enfermedades ocupan un lugar muy importante entre las limitantes del cultivo. De acuerdo con Stuteville y Erwin (40) las enfermedades son el resultado de la interacción entre hospedantes susceptibles, patógenos virulentos y condiciones ambientales predisponentes, incluyendo entre éstas no sólo los aspectos climáticos y edáficos sino también los vectores y las prácticas culturales inadecuadas.

Las enfermedades pueden provocar pérdidas económicas de dos tipos: a) directas: menores rendimientos por mortandad de plantas o disminución del vigor y pérdidas de calidad por manchas foliares y/o defoliación; y b) indirectas: disminución del valor nutricional del forraje por presencia de micotoxinas, disminución de la nodulación y de la consecuente fijación de  $N_2$ , mayor susceptibilidad al ataque de insectos, proliferación de malezas agresivas, etc.

En Estados Unidos se han identificado alrededor de 50 agentes patógenos capaces de dañar a la alfalfa, entre los que se encuentran hongos, bacterias, nemátodos, virus y micoplasmas (16). Obviamente, sólo una parte de este universo de patógenos -por severidad, distribución y frecuencia de ataque- es responsable de pérdidas económicas en los lotes de producción. En Argentina, Hijano y Pérez Fernández (18) han señalado cerca de 25 enfermedades que pueden afectar al cultivo, aunque con diverso grado de importancia regional o zonal.

En este capítulo se presentan las enfermedades más importantes de la alfalfa en Argentina, incluyendo una breve descripción de sus síntomas y algunas medidas de control. Con fines informativos, se presenta también una sección donde se mencionan otras enfermedades que si bien no han alcanzado un grado importante de difusión en el país, pueden eventualmente ocasionar cierto nivel de daño. Finalmente se discute la aplicación de técnicas moleculares en el desarrollo de la resistencia genética para el control de las enfermedades en el cultivo.

## Principales enfermedades de la alfalfa en Argentina

A efectos de facilitar su tratamiento, las enfermedades en alfalfa pueden clasificarse de acuerdo al órgano de la planta que afectan en mayor proporción. En consecuencia, suelen distinguirse dos grandes grupos: a) enfermedades de raíz y corona; y b) enfermedades foliares (tallos y hojas). A continuación, y en base a esta clasificación, se describirán brevemente los principales problemas sanitarios observados en el país. Una más exhaustiva revisión sobre el tema puede consultarse en Hijano y Pérez Fernández (18) y en Ostazeski e Hijano (32). Por otro lado, el tratamiento completo de todas las enfermedades que afectan al cultivo puede encontrarse en Stuteville y Erwin (40), en Leath y col. (23) y en Graham y col. (16).

### Enfermedades de raíz y corona

Los patógenos de este grupo, al destruir directamente los tejidos de la corona y de la raíz, reducen las capacidades de absorción y de anclaje, de fijación simbiótica del  $N_2$  y de

almacenamiento de reservas. Por lo general, estas enfermedades tienen un desarrollo lento, que puede acelerarse en condiciones de estrés. En algunos casos, los patógenos afectan principalmente el xilema -que es la vía para el transporte del agua dentro de la planta- y causan los llamados marchitamientos, con síntomas evidentes en el follaje.

Entre las más significativas dentro de las enfermedades de corona y raíz pueden incluirse:

### Podredumbre húmeda o fitóftora

- **Agente causal:** *Phytophthora megasperma* Drechs. f. sp. *medicaginis*, un hongo de suelo que puede sobrevivir por tiempos prolongados (forma oosporas) y que es capaz de infectar a la alfalfa aún después de varios años de rotación con otros cultivos. Si bien la infección puede producirse en cualquier época del año, la manifestación de los síntomas y los mayores daños se observan principalmente en primavera y otoños húmedos.

- **Condiciones predisponentes:** los suelos bajos y nutricionalmente pobres, con altos contenidos de arcilla y/o limo, mal drenados o de lenta percolación, que se tornan anegadizos en períodos de lluvias abundantes, favorecen el movimiento de las oosporas, que son los órganos de diseminación del patógeno. En consecuencia, la cuenca lechera de Santa Fe, caracterizada por la presencia de suelos muy arcillosos (horizonte B textural) y con problemas de drenaje, ofrece condiciones ideales para la supervivencia del patógeno y el desarrollo de la enfermedad. En otros casos, el encharcamiento producido por la deficiente sistematización de los lotes que se riegan por inundación también favorece al patógeno.

- **Síntomas:** muerte de plántulas durante el establecimiento (*damping-off*) por necrosis de la raíz o base del tallo. En plantas adultas los síntomas característicos se localizan en las raíces, donde se observan lesiones pardas de márgenes difusos y generalmente situadas en la inserción de las raíces laterales. Estas lesiones provocan primero la muerte de las raicillas y finalmente la de la raíz principal, normalmente a la profundidad en que el drenaje de agua se encuentra interrumpido. Si se practican cortes transversales de la raíz, se aprecia una coloración amarillenta a marrón clara tanto de los tejidos corticales como del xilema (Figura 1).



FIGURA 1 – Síntomas de podredumbre húmeda: a) lesiones típicas en raíces; b) planta enferma (izq.) vs. planta normal (der.).

El follaje de las plantas afectadas adquiere una coloración marrón-rojiza y presenta un evidente retardo de la brotación luego del corte o pastoreo; en estadios más avanzados, el follaje se marchita y finalmente la planta muere.

- **Manejo de la enfermedad:** la forma más económica y eficaz de control es la utilización de cultivares resistentes. En la actualidad la mayoría de los cultivares que se ofrecen en el mercado nacional tienen buenos a muy buenos niveles de resistencia genética a la enfermedad. En suelos pesados o con antecedentes graves de fitóftora, el tratamiento de las semillas con fungicidas (metalaxyl o mefenoxan) puede otorgar una protección adicional a las plántulas, previniendo el *damping-off* y favoreciendo una mejor implantación del cultivo. En suelos deficientes, la fertilización con fósforo (P) y azufre (S) durante la implantación, a fin de promover un crecimiento rápido y vigoroso de la alfalfa, puede contribuir a mantener una buena población de plantas. La elección de

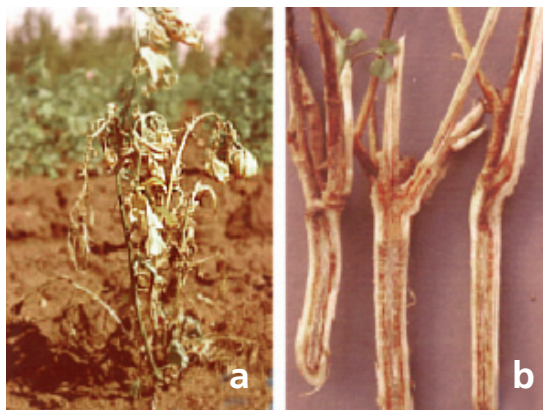
lotes con buen drenaje y/o la realización de labores culturales que faciliten la infiltración o la eliminación de los excesos hídricos (cincelados, subsolados, canales de drenaje, nivelación, etc.), pueden contribuir a la atenuación -no a la eliminación- del problema.

### Fusariosis o marchitamiento

- **Agente causal:** *Fusarium oxysporum* Schl. f. sp. *medicaginis* (Weimer) Syn. & Hans. Este hongo, que sobrevive en el suelo como clamidosporas y en restos de tejidos vegetales como micelio, puede permanecer en el suelo por varios años sin perder su capacidad infectiva.
- **Condiciones predisponentes:** contrariamente a lo señalado para fitóftora, los suelos sueltos y bien drenados, con moderados contenidos hídricos, constituyen condiciones ideales para este patógeno; complementariamente, las elevadas temperaturas edáficas durante el verano favorecen su desarrollo y diseminación. Los daños de la raíz causados por insectos de suelo o por nemátodos son una vía de entrada para el patógeno, lo que incrementa la incidencia de la enfermedad.
- **Síntomas:** el follaje de las plantas severamente afectadas presenta el color verde-amarillento a pajizo típico del marchitamiento, con tallos cortos, escasos rebrotes basales y una evidente disminución en la velocidad de rebrote luego de un corte o pastoreo. Si se practica una sección transversal de la raíz se observa una coloración parda, en forma de anillo, originada por la necrosis de los tejidos vasculares; conforme avanza la enfermedad, la necrosis puede afectar todos los tejidos radiculares (Figura 2). A nivel del cultivo, la infección se distribuye en forma irregular, como parches dispersos o manchones.
- **Manejo de la enfermedad:** la única vía efectiva de control es el empleo de cultivares resistentes, de los cuales existe un alto número en el mercado.

### Corchosis

- **Agente causal:** *Xylaria* spp., hongo que fuera identificado por primera vez en la Argentina en 1985 y cuya incidencia en alfalfares establecidos fue estimada entre el 22 y el 42% (20). Aunque la infección pueda producirse en el primer año de vida de la planta, necrosando primeramente las raíces laterales, los síntomas se hacen generalmente visibles a partir del segundo o tercer año. La enfermedad causa daños importantes en todo el país.
- **Condiciones predisponentes:** la edad de la planta (más de 2 años) es uno de los factores que determinan la mayor susceptibilidad al patógeno. El daño mecánico por cortes a muy baja altura o las heridas producidas en la corona por el pisoteo de los animales en pastoreo con condiciones de poco piso, favorecen la penetración de *Xylaria* spp.
- **Síntomas:** si bien no se observan síntomas en el follaje, la ausencia de rebrote, o su retraso, son indicadores de la presencia de la enfermedad. Los síntomas típicos se localizan en la raíz y la corona, donde es posible observar una podredumbre seca (cancro) de aspecto corchoso que caracteriza a la enfermedad (Figura 3), y que se suma a la ausencia de raíces laterales. Una vez iniciado, el cancro crece lentamente y va adquiriendo una coloración pardo clara a grisácea, usualmente asociada a regiones blanquecinas que corresponden al micelio del patógeno. A medida que la enfermedad progresa, el cancro va aumentando de tamaño y termina por desprenderse de la raíz. Finalmente,



**FIGURA 2** – a) marchitamiento del follaje por fusariosis; b) corte transversal de raíces y coronas que muestran el xilema totalmente afectado.



**FIGURA 3** – Corona y parte superior de la raíz mostrando la lesión característica de la corchosis. En el centro, de color blanquecino, se aprecia el micelio del patógeno.

las plantas afectadas mueren y son invadidas totalmente por el micelio del hongo, que conforme envejece va adquiriendo una coloración verde oliva a negra.

- **Manejo de la enfermedad:** no existen en la actualidad cultivares de alfalfa con altos niveles de resistencia al patógeno. Ante la ausencia de fuentes de resistencia genética y de protocolos de selección, la identificación de plantas libres de síntomas en alfalfares de 3 o más años, y su posterior inter cruzamiento, constituye la única herramienta disponible para aumentar el número de plantas resistentes en una población de alfalfa. En ese contexto, los programas de mejoramiento nacionales ofrecen una apreciable ventaja frente a los cultivares que se desarrollan en el extranjero, donde la enfermedad no existe. La rotación con cultivos no hospedantes (gramíneas y/o *Melilotus* spp.), por un período de tres a cuatro años, puede atenuar la presencia del patógeno en el lote.

### Complejo de podredumbres de corona y raíz

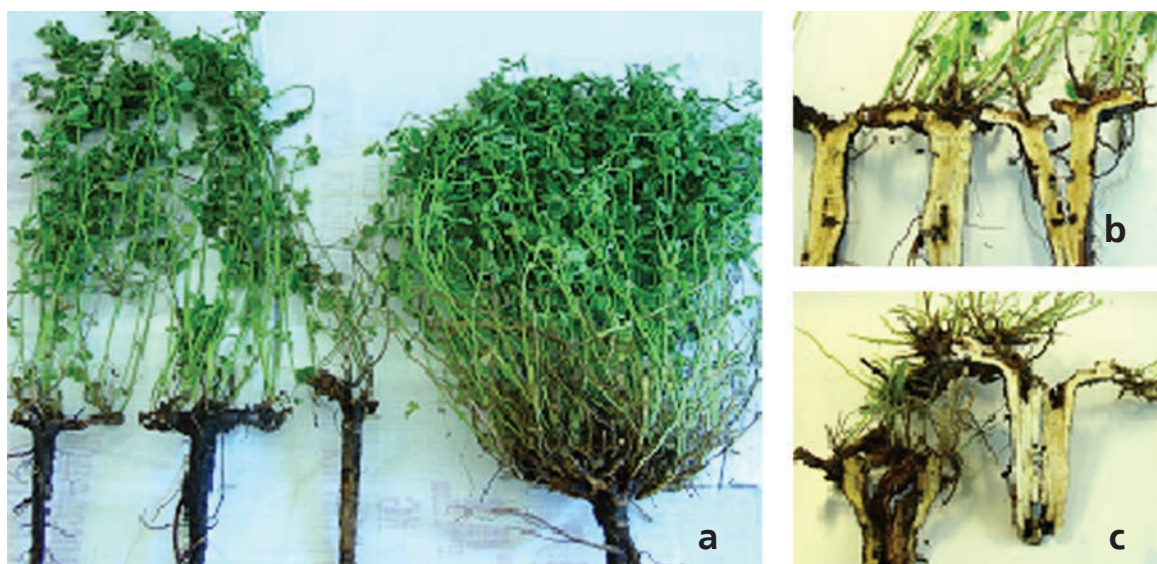
- **Agente causal:** un complejo de hongos de varios géneros y especies, entre las que se pueden mencionar: *Pythium* spp., *Phoma* spp., *Colletotrichum trifolii* Bain & Essary, *Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. *medicaginis*, *F. solani* (Mart.) Sacc., *F. roseum* Link. Ex Fr. y *Rhizoctonia solani* Kühn. A este conjunto de hongos se suelen agregar otros organismos -tanto patógenos (bacterias y nemátodos) como saprofitos- que, interactuando con el ambiente, confluyen sinérgicamente para producir las podredumbres de corona y raíz. En una evaluación realizada en alfalfares de 4 años establecidos en diferentes localidades de la Región Pampeana, Hijano y col. (19) estimaron una incidencia de la enfermedad que osciló entre el 12% y el 30%.

- **Condiciones predisponentes:** la producción de lesiones en la corona o en la raíz por diferentes motivos (gorgojos, gusanos blancos, cortes frecuentes y a muy baja altura, pisoteo por animales, etc.) facilitan la infección del complejo de patógenos antes mencionados. Asimismo, las condiciones de estrés que pueda sufrir la planta (enfermedades foliares, sequía, deficiencias nutricionales, etc.) favorecen la proliferación del problema.

- **Síntomas:** la enfermedad es de lenta evolución y se inicia con la aparición en la corona de áreas necrosadas de coloración parda, que seguidamente se extienden al tejido cortical de la raíz. Conforme avanza la enfermedad, la necrosis se expande por la corona y hace disminuir el número de brotes basales y el vigor general de la planta (Figura 4). No se aprecian síntomas en el follaje, pero la ausencia o el retraso de los rebrotes son indicativos de la presencia de la enfermedad. En plantas de 3 o más años es usual observar áreas huecas en la parte superior de las raíces o en la corona de las plantas afectadas.

- **Manejo de la enfermedad:** la imposibilidad de definir protocolos de selección efectivos para este complejo grupo de patógenos hace que no se cuente con cultivares resistentes. De todos modos, la utilización de variedades con resistencia genética a algunos de los agentes indicados -como *Fusarium*, *Phoma* y *Colletotrichum trifolii*- puede contribuir a atenuar el desarrollo de la enfermedad. La adopción de prácticas culturales que eviten daños a la corona (no realizar cortes muy bajos, con cuchillas desafiladas; realizar los cortes o pastoreos respetando los ciclos de acumulación de reservas; no





**FIGURA 4** – a) contraste entre planta sana (der.) y plantas afectadas por el complejo de podredumbres, mostrando una evidente falta de rebrotes; b) corte transversal de las plantas afectadas en a) donde se observa la necrosis de corona que origina la ausencia de rebrote; y c) diferentes grados de evolución de la enfermedad en corona y parte superior de la raíz.

pastorear con falta de piso; etc.) disminuyen las vías de entrada de los patógenos y, por ende, reducen la difusión de la enfermedad.

### Antracnosis

- **Agente causal:** *Colletotrichum trifolii* Bain & Essary, hongo que sobrevive de un año a otro en tallos, coronas y restos vegetales muertos en forma de picnidios. Si bien en Estados Unidos se han detectado dos razas de este patógeno, en la Argentina sólo se ha identificado una.
- **Condiciones predisponentes:** temperaturas elevadas y alta humedad edáfica favorecen el ataque del patógeno; por ello, es frecuente observar las primeras plantas afectadas luego del primer corte de primavera. La mayor incidencia de la enfermedad se verifica en veranos y otoños húmedos. Si se retrasa la utilización del alfalfar, el desarrollo del follaje ejerce la sombra suficiente como para aumentar las condiciones de humedad en la parte inferior de la canopia, lo que facilita la germinación de las esporas y la posterior penetración del patógeno en las plantas. Bajo estas condiciones, los daños pueden ser particularmente severos a punto tal de producirse la necrosis completa de los tallos y de parte de la corona.
- **Síntomas:** en el tercio inferior de los tallos se observan unas lesiones elípticas, de color pajizo y bordes oscuros, donde a menudo es posible apreciar puntuaciones negras que son las fructificaciones del hongo (picnidios) (Figura 5).



**FIGURA 5** – a) lesiones de antracnosis en el tercio inferior de tallos de alfalfa; y b) detalle de una lesión exhibiendo los picnidios.

Los tallos afectados, al manifestar signos de deficiencia hídrica, adquieren

primero la típica forma de bastón y luego, conforme avanza la infección, se marchitan completamente pero conservando adheridas las hojas secas; finalmente, los tallos afectados acaban quebrándose.

En estados avanzados de la enfermedad, la corona presenta áreas necrosadas de colopastorear con falta de piso; etc.) disminuyen las vías de entrada de los patógenos y, por ende, reducen la difusión de la enfermedad. ración azul-negruczca. En algunos casos, cuando la infección de la corona es muy severa, se puede producir la muerte de las plantas sin evidenciar síntomas en la parte aérea. Durante el período de establecimiento del alfalfar, el patógeno puede ocasionar la muerte de las plántulas (*damping-off*).

- **Manejo de la enfermedad:** el empleo de cultivares resistentes, de los cuales hay muchos en el mercado, es la forma más efectiva de control. El correcto manejo de la pastura, efectuando los cortes o pastoreos a principios de floración, puede disminuir su difusión, al igual que el anticipo de los cortes o pastoreos cuando las condiciones de humedad ambiente son muy altas. La eliminación de los residuos en los lotes y la rotación con gramíneas por un período de al menos 2-3 años pueden reducir la cantidad de inóculo disponible para futuras infecciones.

### Rizoctonia o manchón de los alfalfares

- **Agente causal:** *Rhizoctonia croccorum* (Pers. ex Fr.) (sin. *R. Violacea* Tul. y C. Tul.), patógeno que puede subsistir en el suelo por períodos superiores a veinte años. En la actualidad esta enfermedad no tiene la importancia que tuvo durante las primeras décadas del siglo XX, aunque eventualmente se la suele detectar en los lotes de alfalfa.

- **Condiciones predisponentes:** si bien las condiciones de alta humedad favorecen su rápida diseminación, el hongo es capaz de causar daños en una amplia gama de ambientes, llegando inclusive a producir daños significativos en regiones semiáridas. La utilización de antecesores susceptibles -como los tréboles (*Trifolium* spp.) y el *Lotus corniculatus*- favorecen la aparición temprana del problema.

- **Síntomas:** la enfermedad se manifiesta como una típica podredumbre, en la que el micelio del patógeno invade completamente la zona radical. Las hifas del hongo forman una masa compacta de coloración violácea que envuelve externamente a la raíz (Figura 6); la parte interna de ésta se torna blanda y comienza a desagregarse. Sobre los tejidos necrosados es posible observar pequeños esclerocios de color negro. El follaje de las plantas infectadas se marchita y se torna primero amarillento, luego castaño y finalmente se seca completamente, contrastando con el color verde de las plantas sanas circundantes. En el campo, el avance del patógeno se produce en forma irregular, observándose grandes círculos o manchones de plantas muertas en el lote.

- **Manejo de la enfermedad:** No existen variedades resistentes. La inclusión de gramíneas en la rotación puede contribuir a disminuir la incidencia de la enfermedad en suelos problemáticos.



**FIGURA 6** – Planta afectada por *Rhizoctonia croccorum*, exhibiendo la raíz principal totalmente envuelta por las hifas del patógeno.

### Enfermedades foliares

Este tipo de enfermedades no ocasionan la muerte de la planta *per se* pero, al reducir su capacidad fotosintética, disminuyen la energía total y promueven pérdidas del rendi-

miento y/o calidad forrajera. Aún cuando no produzcan defoliaciones importantes, pueden disminuir significativamente el contenido de carbohidratos no estructurales y de proteína en el forraje. Las defoliaciones severas, particularmente en el otoño, pueden causar un estrés general en las plantas y predisponerlas para el ataque de otros agentes patógenos, contribuyendo así a la pérdida de población durante el invierno.

De modo general, las enfermedades foliares suelen ser particularmente dañinas en primaveras y otoños frescos y húmedos, siendo bastante frecuente encontrar a varios de estos patógenos infectando simultáneamente una misma hoja de alfalfa. Como norma general, los cultivares sin reposo invernal (GRI 8-10), que fueron originalmente desarrollados para ambientes secos, son más susceptibles a estos patógenos. No obstante, durante los últimos años, los programas de mejoramiento -particularmente nacionales- han logrado cultivares sin reposo con mejor sanidad foliar.

Entre los patógenos más importantes de este grupo, por frecuencia y por severidad de daño, pueden mencionarse:

### Viruela

- **Agente causal:** *Pseudopeziza medicaginis* (Lib.) Sacc. Este patógeno, que es considerado uno de los más dañinos para el follaje de la alfalfa, sobrevive en hojas muertas y causa infecciones secundarias cuando las condiciones ambientales son favorables para la germinación de sus esporas (ascosporas). Su incidencia es mayor en lotes irrigados, donde se han registrado pérdidas superiores al 40% de la producción de forraje (29).
- **Condiciones predisponentes:** períodos prolongados de tiempo fresco y húmedo, particularmente durante la primavera y el otoño, constituyen condiciones ideales para el desarrollo de la viruela. Tanto el uso indebido del riego -sea por aspersión o por inundación- como el retraso de los cortes o pastoreos -que por efecto de sombreado aumentan la humedad de la parte inferior del canopeo- favorecen la proliferación de *P. medicaginis*.
- **Síntomas:** la aparición de manchas marrones o negras, pequeñas (2-3 mm de diámetro), de forma circular y de márgenes lisos o dentados, distribuidas más o menos uniformemente en los folíolos (Figura 7) es el síntoma típico de la enfermedad. Sobre el haz de los folíolos, en las manchas más viejas, suelen desarrollarse estructuras de color castaño claro que corresponden a las fructificaciones del hongo (apotecios). Las ascosporas producidas por estas fructificaciones son difundidas por el viento o las gotas de lluvia para infectar nuevas plantas en el cultivo, comenzando por las hojas inferiores. Si las condiciones ambientales son favorables, prácticamente todo el follaje termina siendo afectado y se producen severas defoliaciones en toda la pastura.
- **Manejo de la enfermedad:** si bien existen en el mercado algunos cultivares que presentan una moderada resistencia al patógeno, su efectividad como medida de control no es muy alta. Como paliativo, se recomienda no retrasar los cortes o pastoreos aunque siempre respetando los ciclos fisiológicos de acumulación de reservas en la planta. En caso de tiempo muy húmedo puede ser necesario anticipar el corte o el pastoreo para evitar importantes pérdidas de calidad y/o rendimiento de forraje por defoliación, a la vez que se reduce sensiblemente la cantidad de inóculo para posteriores infecciones. La aplicación relativamente temprana de fungicidas sistémicos puede ser efectiva aunque generalmente antieconómica.



**FIGURA 7** – Hoja de alfalfa con un severo ataque de viruela.



## Mancha ocular

- **Agente causal:** *Leptosphaerulina briosiana* (Poll.) Graham & Luttrell. Este patógeno se difundió en todas las áreas alfareras del país a partir de la utilización masiva de los cultivares sin reposo invernal, cuya constitución genética los hace particularmente susceptibles.
- **Condiciones predisponentes:** los períodos de tiempo fresco y húmedo conforman condiciones ideales para el desarrollo y la difusión de la mancha ocular.
- **Síntomas:** las lesiones comienzan generalmente en las hojas jóvenes como pequeñas manchas de coloración oscura, que luego se agrandan hasta alcanzar un diámetro de 1 a 3 mm y se rodean de un margen castaño oscuro circundado por un halo amarillento, lo que les confiere el aspecto similar a un ojo que las caracteriza (Figura 8). Conforme avanza la enfermedad las lesiones van cubriendo todo el folíolo, hasta que éste finalmente se desprende. Se han observado ataques muy severos donde la defoliación del cultivo fue total.
- **Manejo de la enfermedad:** caben las mismas consideraciones que se efectuaran para el caso de viuela.



FIGURA 8 – Foliolos de alfalfa exhibiendo las típicas manchas en forma de ojo causadas por *Leptosphaerulina briosiana*.

## Roya

- **Agente causal:** *Uromyces striatus* Schroet., hongo del que se han identificado varias razas. Además de la alfalfa, suele infectar otras leguminosas pertenecientes a los géneros *Medicago* y *Trifolium*, así como malezas del género *Euphorbia*. Forma uredosporos que pueden sobrevivir varios meses en condiciones de ambiente seco.
- **Condiciones predisponentes:** el tiempo cálido y húmedo favorece la aparición y la proliferación de este patógeno, especialmente a partir de fines de verano y durante el otoño.
- **Síntomas:** la observación de pústulas circulares y pequeñas en ambas caras de las hojas (Figura 9), de color marrón-rojizo y que rompen la epidermis, son el elemento inequívoco de diagnóstico de esta enfermedad. Las uredosporas se desprenden fácilmente de estas pústulas y, al ser transportadas por el viento, pueden infectar otros lotes de alfalfa localizados a varios kilómetros de distancia. Las hojas cubiertas de pústulas comienzan a encorvarse y finalmente se desprenden, pudiendo ocasionar defoliaciones totales bajo condiciones muy favorables para el patógeno. En ataques severos es posible observar pústulas elípticas desarrollándose sobre los tallos.
- **Manejo de la enfermedad:** caben las mismas recomendaciones realizadas para las dos anteriores enfermedades foliares.

## Tallo negro de primavera

- **Agente causal:** *Phoma medicaginis* Malbr. & Roum var. *medicaginis* Boerema, patógeno que puede sobrevivir varios meses en la forma de picnidios en restos vegetales, infectando posteriormente hojas y tallos cuando las condiciones ambientales favorecen su germinación.
- **Condiciones predisponentes:**

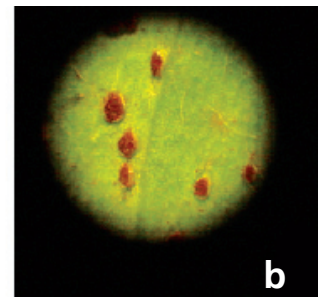


FIGURA 9 – a) envés de una hoja de alfalfa con las características lesiones de roya; y b) detalle de pústulas con uredosporas.

primaveras y otoños relativamente frescos y húmedos favorecen la aparición y proliferación de la enfermedad. La humedad es necesaria para la difusión y germinación de las esporas.

- **Síntomas:** la enfermedad comienza como manchas de tono marrón oscuro en las hojas que, al evolucionar el daño, coalescen y llegan a afectar una gran superficie de los folíolos. En los tallos esas manchas oscuras son primero individuales pero luego -a medida que convergen- invaden amplios sectores de la base, confiriendo el color negro característico que da nombre a la enfermedad (Figura 10). Las hojas atacadas adquieren una coloración amarillenta y finalmente se desprenden del tallo. En primaveras frescas y húmedas la defoliación puede ser total. Bajo condiciones muy favorables, el patógeno puede también colonizar las vainas y la corona de la planta.

- **Manejo de la enfermedad:** a las medidas de control señaladas para las enfermedades anteriores se puede agregar la rotación con cultivos no hospedantes (gramíneas y *Melilotus* spp.) por al menos 2 a 3 años.

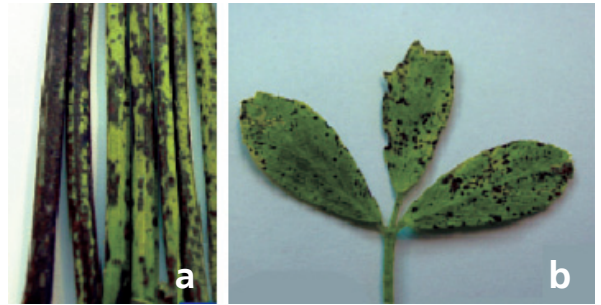


FIGURA 10 – Daño de *Phoma medicaginis* en tallos (a) y hoja de alfalfa (b).

### Tallo negro de verano

- **Agente causal:** *Cercospora medicaginis* Ellis & Everth., hongo que pasa el invierno como micelio en tallos infectados pero que para fructificar requiere necesariamente de temperaturas cálidas y humedad muy elevada.

- **Condiciones predisponentes:** veranos cálidos y muy húmedos favorecen la aparición y proliferación del patógeno. En esas condiciones, el retraso del corte o pastoreo puede agravar la enfermedad.

- **Síntomas:** el daño se evidencia -primero en las hojas inferiores y posteriormente en las superiores- como manchas marrones o castañas, de forma redondeada o elíptica y con márgenes difusos. A medida que la enfermedad evoluciona, esas manchas coalescen y se rodean de un gran halo clorótico de forma irregular. Cuando el hongo fructifica, se observa en las lesiones una tonalidad gris clara en la parte central. En la base de los tallos se producen manchas oscuras que pueden afectar una gran parte de los mismos y que son muy similares a las de la enfermedad anterior.

- **Manejo de la enfermedad:** valen las mismas recomendaciones que para tallo negro de primavera.

### Manchón foliar amarillo

- **Agente causal:** *Leptotrochila medicaginis* (Fckl.) Schüepp. Entre fines del verano y principios del otoño el hongo forma sobre hojas muertas sus órganos de fructificación (apotecios), los que después de invernar liberarán las ascosporas en la primavera siguiente. Éstas últimas son las encargadas de iniciar la infección en el cultivo. En Estados Unidos se han estimado pérdidas de hojas que van desde el 40% (a principios de floración) hasta el 80% (formación de vainas) (38).

- **Condiciones predisponentes:** primaveras y otoños frescos y húmedos, o períodos de abundantes precipitaciones seguidas de días nublados, favorecen el desarrollo y la difusión del patógeno. También el retraso del aprovechamiento de la alfalfa (corte o pastoreo) agravan los daños.

- **Síntomas:** los daños comienzan en el haz de los folíolos como pequeñas manchas de color amarillento que luego van creciendo en tamaño hasta invadir gran parte de las hojas, siguiendo más o menos el recorrido de las nervaduras y formando manchones





FIGURA 11 – En el sentido horario se muestra la evolución del manchón foliar amarillo en hojas de alfalfa.

amarillos en forma de «V», con un área pardo-clara en su parte central (Figura 11). Bajo condiciones favorables, se pueden producir defoliaciones importantes.

- **Manejo de la enfermedad:** No existen variedades resistentes o tolerantes. Las otras medidas de manejo indicadas para las enfermedades foliares previamente tratadas también tienen aplicación en este caso.

### Mildiu o «mildew»

- **Agente causal:** *Peronospora trifoliorum* De Bary. Este hongo sobrevive el invierno en

tejidos vegetales vivos y únicamente fructifica en condiciones de oscuridad y muy alta humedad ambiental, siendo el viento y la lluvia los principales agentes de su diseminación. Al ser un parásito obligado, no puede desarrollarse en medios de cultivo.

- **Condiciones predisponentes:** primaveras y otoños frescos y húmedos favorecen la aparición y la proliferación del patógeno.

- **Síntomas:** *P. trifoliorum* puede producir dos tipos de infecciones: localizada y sistémica. En el primer caso, en el haz de los folíolos se presentan sectores cloróticos o descoloridos, que se corresponden con eflorescencias de tono grisáceo en el envés y que son las hifas (conidióforos) del hongo (Figura 12). Cuando la infección es sistémica, el patógeno invade tallos, yemas y hojas completas. Los tallos infectados adquieren mayor diámetro y presentan entrenudos más cortos, produciendo a menudo un brote terminal ramificado, con hojas superpuestas en forma de roseta. Los márgenes de las hojas totalmente infectadas se curvan hacia abajo. En alfalfares en implantación y bajo condiciones muy favorables, el mildiu puede provocar la muerte de las plántulas (*damping-off*).

- **Manejo de la enfermedad:** existen cultivares de origen estadounidense con aceptables niveles de resistencia genética al patógeno; de todos modos, su grado de reposo invernal no siempre es el adecuado para las condiciones de la Región Pampeana. El tratamiento de la semilla con fungicidas sistémicos (como metalaxyl) puede ser de utilidad para la implantación en áreas tradicionalmente problemáticas. Ante ataques importantes, el adelantamiento del corte o pastoreo contribuye a evitar importantes pérdidas de calidad y/o rendimiento de forraje, a la vez que reduce sensiblemente la cantidad de inóculo para posteriores infecciones.



FIGURA 12 – Envés de una hoja de alfalfa mostrando la inconfundible eflorescencia grisácea del mildiu.

### Virus del mosaico de la alfalfa

- **Agente causal:** virus del mosaico o *AMV* (por sus siglas en inglés: *Alfalfa Mosaic Virus*), cuyas partículas se presentan bajo dos formas: una similar a un bacilo (baciliformes) y la otra similar a una vara (variformes). En realidad se trata de un complejo constituido por varias razas del *AMV* que difieren en infectividad y

otras características. Este complejo puede infectar a más de 200 especies vegetales, aunque parece que la alfalfa es el hospedante preferido por la mayoría de las razas (16). El patógeno se transmite a través de diversos insectos vectores, aunque también puede hacerlo por medio de la semilla y el polen.

- **Condiciones predisponentes:** si bien se sospecha que el AMV puede ser transmitido por todas las especies de áfidos que atacan a la alfalfa, el pulgón verde (*Acyrtosiphon pisum* Harris) es su vector más importante; en consecuencia, las condiciones que favorecen la proliferación de este insecto dañino también contribuyen a la difusión de las enfermedades (ver Capítulo 9). Durante los últimos años se ha observado en los lotes de alfalfa una creciente presencia de trips (*Thrips* spp., *Frankliniella* spp. y *Caliothrips* spp.), que también podrían ser vectores del AMV.

- **Síntomas:** la aparición de un moteado (mosaico) de color amarillento a verde pálido, que se desarrolla entre las nervaduras de los folíolos y que puede o no estar acompañado de enanismo, constituye el síntoma clásico de la enfermedad (Figura 13).



FIGURA 13 – Hojas con el moteado distintivo del virus del mosaico de la alfalfa.

También es usual encontrar plantas con enanismo y hojas enruladas o acartuchadas sin presencia de mosaico. En otros casos, el follaje puede no tener síntomas evidentes pero la planta manifiesta un estado de debilidad general y, eventualmente, puede morir. Una vez infectada, la planta contiene al patógeno por el resto de su vida. Los períodos con altas temperaturas durante el verano pueden enmascarar los síntomas del AMV.

- **Manejo de la enfermedad:** el control de los insectos vectores es la única medida preventiva de cierta efectividad. No existen en la actualidad cultivares resistentes, aunque es posible que en un futuro se pueda contar con algunos desarrollados por técnicas moleculares.

### Escoba de bruja

- **Agente causal:** un fitoplasma que, de acuerdo a la taxonomía internacional, pertenece al grupo 16S rDNA Ash yellows (*Candidatus Phytoplasma fraxini*). Los fitoplasmas (procariotas sin pared celular) son un tipo de bacterias fitopatogénicas que habitan el floema y que son transmitidas por insectos -principalmente chicharritas (Homóptera: Cicadellidae)- que se alimentan en esos vasos conductores de la planta. Basados en caracterizaciones moleculares, Conci y col. (11) propusieron ubicar al agente causal de la escoba de bruja de la alfalfa en Argentina dentro de un nuevo subgrupo identificado como VII-C, que obviamente se incluye dentro del grupo mencionado al comienzo.

- **Condiciones predisponentes:** los climas áridos y semiáridos parecen favorecer el desarrollo de la enfermedad, dado que los daños más severos se han observado en la Región Cuyana, particularmente en lotes destinados a la producción de semilla.

- **Síntomas:** gran proliferación de tallos cortos y finos, hojas de tamaño severamente reducido, enanismo generalizado, clorosis y aborto de flores (Figura 14); en algunos casos se observan flores verdes o reemplazo de las inflorescencias por estructuras de tipo vegetativo (40). En períodos frescos y con adecuada humedad las plantas afectadas pueden manifestar signos de recuperación, pero los síntomas vuelven ni bien aumenta la temperatura y/o la deficiencia hídrica. Obviamente, las plantas enfermas disminuyen



**FIGURA 14** – Planta de alfalfa presentando sintomatología de escoba de bruja (a) en contraste con una planta normal (b).

sus rendimientos de forraje y semilla. A medida que pasan los años, el número de plantas infectadas en el lote va en aumento.

- **Manejo de la enfermedad:** la inmediata remoción de las plantas enfermas y el control de los insectos vectores parecen ser las únicas medidas efectivas para atenuar la difusión de la enfermedad. No existen cultivares resistentes.

## Enfermedades de menor importancia en Argentina

A las enfermedades descritas en la sección anterior se agregan otras que, si bien fueron identificadas por algunos autores como presentes en el país, no han alcanzado todavía un grado de difusión y/o de daño que justifique su inclusión como agentes patógenos de importancia primaria. En otros casos, la presencia del patógeno sólo se estima que constituye una amenaza potencial para el cultivo. A continuación se describirán sintéticamente algunas de estas enfermedades que, por ahora, tienen escasa significación en el país.

Bajo condiciones de temperaturas moderadas y alta humedad, el grupo de las enfermedades foliares se ve aumentado por la presencia de *Stemphylium botryosum* Wallr., cuyos síntomas típicos son la producción de manchas redondeadas u ovaladas, de color marrón con un halo clorótico circundante y de topografía algo hundida. Usualmente, esas manchas se tornan más oscuras y adquieren un aspecto de anillos concéntricos, con alternancia de sectores de diferente tonalidad (18). En el área de Paraná, Formento y Verzagnassi (14) han señalado la presencia del patógeno en lotes de alfalfa durante la primavera, acompañando infecciones de viruela, mildiu, mancha ocular y tallo negro de primavera.

La **esclerotiniosis** (*Sclerotinia trifoliourum* Ricks.) es una enfermedad de la raíz que comienza con un decoloración de tono amarillento en los tejidos infectados y que posteriormente degenera en una podredumbre pardo oscura y de consistencia blanda. Los daños son más severos hacia fines de otoño -cuando la humedad del suelo aumenta- y cuando la infección se produce en estado de plántula, pudiendo producirse un apreciable nivel de mortandad en la población. A medida que las plantas desarrollan se van haciendo menos susceptibles, a punto tal que en un lote adulto se suele observar daño sólo en individuos aislados (17). Bajo condiciones de alta humedad es factible apreciar el micelio del hongo que, como una masa algodonosa, crece sobre la base de los tallos y las coronas infectadas. En los restos de tejidos vegetales ya muertos se suelen ver a simple vista unos granos oscuros y duros: son los esclerocios o estructuras de resistencia del patógeno.

Una enfermedad muy similar a la anterior, la **esclerotia** (*Sclerotium rolfsii* Sacc.) fue detectada hace algunos años en Castelar (21). Se trata de una podredumbre húmeda en la corona y la base de los tallos, que ocasiona finalmente la necrosis de las partes afectadas. En condiciones de alta humedad ambiental, el hongo desarrolla su micelio blanquecino sobre el que es posible observar unos esclerocios pardos y de forma globosa. La



distribución de la enfermedad en el lote es irregular, evolucionando en forma de manchones. En un ensayo de detección y frecuencia de plagas y enfermedades de la alfalfa en Castelar, Basigalup e Hijano (2) señalaron a la esclerotia como la responsable del 1% de la muerte de las plantas que pudieron diagnosticarse.

La **verticilosis** es un marchitamiento causado por el hongo *Verticillium albo-atrum* Reinke & Berth. Las hojas de las plantas infectadas manifiestan una coloración amarillenta generalizada, con los extremos de los folíolos cubiertos por unas típicas manchas en «V» compuestas por un área central necrosada de color gris circundada por un margen clorótico. Aún totalmente necrosadas, las hojas quedan adheridas a los tallos, que permanecen verdes aunque con su crecimiento detenido. En un corte transversal, la raíz exhibe un anillo de color anaranjado a pardo claro que corresponde a los tejidos vasculares colonizados por el patógeno. Cuando la infección progresa y el hongo invade la corona y otros órganos, la planta finalmente muere. Si bien existe la sospecha de haberla observado en algunos lotes de alfalfa bajo riego, la enfermedad no fue fehacientemente detectada en el país (18). No obstante, el hecho de que las esporas del hongo puedan ser transportadas por la semilla (o los restos vegetales que pueden acompañarla) le otorga un cierto grado de peligrosidad potencial.



**FIGURA 15** – Lesiones en el xilema de una planta de alfalfa afectada por *Phomopsis* spp. (Foto gentileza J. Velázquez y N. Formento, INTA Paraná).

Otra enfermedad detectada en zonas húmedas es la **fomopsis**, cuyo agente causal *-Phomopsis spp-* es frecuentemente aislado en el área de influencia de INTA Paraná a partir de coronas necrosadas y de lesiones en las paredes del xilema (Figura 15) provenientes de plantas de alfalfa que manifiestan en los tallos un marchitamiento con forma de bastón (14). Este patógeno reviste una peligrosidad potencial para el sector oriental de la Región Pampeana por haber sido detectado en pasturas de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y en cultivos de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] y girasol (*Helianthus annuus* L.) del Departamento Diamante en la Provincia de Entre Ríos (14).

El **cancro radicular**, causado por *Rhizoctonia solani* Kuhn, ha sido esporádicamente diagnosticado en zonas de regadío y durante períodos de altas temperaturas (18). El patógeno produce canchros en las raíces, que son lesiones oscuras y hundidas, con bordes elevados, que se ubican en los puntos de inserción de las raicillas. Esas lesiones coalescen y terminan pudriendo la raíz principal, que se corta en forma similar al daño originado por fitóftora. Basados en las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de este hongo, Leath y col. (23) han asociado al patógeno con un problema denominado «escaldadura», que produce la muerte de plantas por una combinación de altas temperaturas e inundación del suelo.

El **nemátodo del tallo** [*Ditylenchus dipsaci* (Kühn) Filipjev)] penetra a través de los brotes que se desarrollan en la corona y desde allí invade los tallos en crecimiento, que se engrosan y se decoloran en tanto que los nudos se hinchan y los entrenudos se acortan. Si la infección progresa, los tallos en crecimiento presentan un aspecto achaparrado para finalmente oscurecerse y morir. Bajo condiciones muy favorables, con tiempo cálido y húmedo, los nemátodos pueden invadir también las hojas, que toman un aspecto encrespado como consecuencia de la distorsión de sus tejidos internos. Durante las primeras décadas del siglo XX, este patógeno fue señalado como el problema sanitario más importante de la alfalfa en el país, al punto de promover varios esfuerzos para

obtener cultivares resistentes. Sin embargo, a partir de los '50 sus daños han sido sólo esporádicos y de escasa importancia. Actualmente en el mercado existen varios cultivares resistentes, todos de origen estadounidense.

El **nemátodo de las lesiones de raíz** (*Pratylenchus* spp.) invade y destruye las raicillas y causa lesiones de color oscuro en la raíz principal. Esas lesiones sirven de puerta de entrada para otros microorganismos patógenos que agravan la situación de la planta afectada. Cuando la infección es importante, las raíces toman un color marrón generalizado y disminuyen su crecimiento; en ese contexto, el único signo aéreo de la infección es un desarrollo achaparrado del follaje. Si bien no hay referencias concretas de daño en el país, *Pratylenchus* spp. es un componente habitual de las muestras de suelo que se analizan por presencia de nemátodos.

## **Abordaje molecular de la selección por resistencia a enfermedades**

Desde tiempo atrás, el mejoramiento tradicional ha sido efectivo para desarrollar una gran cantidad de cultivares resistentes a muchas de las principales enfermedades de la alfalfa. A los avances en el conocimiento genético de la especie, se agregaron el diseño de apropiados métodos de mejoramiento y la definición de adecuados protocolos de selección (ver Capítulo 5). Sin embargo, los principales inconvenientes de estas metodologías convencionales son el tiempo y la infraestructura necesarios para la identificación de los genotipos resistentes y la posibilidad de originar escapes en el proceso de selección. Por el contrario, la selección asistida por marcadores moleculares permite una mayor eficiencia del trabajo de mejoramiento, no sólo por la disminución de los tiempos requeridos en cada ciclo de selección sino también por la detección precisa de los genotipos a seleccionar.

### **Marcadores Moleculares**

Existen dos tipos de marcadores utilizados en estudios de genética y de mejoramiento vegetal: a) morfológicos; y b) moleculares. Los primeros están controlados por genes asociados a caracteres visualmente identificables en la planta, como enanismo, deficiencia clorofílica, pigmentación antocianica, coloración de pétalos, forma de hojas, longitud de aristas, etc. Su principal desventaja radica en el bajo número en el que están disponibles, lo que limita significativamente la probabilidad de encontrar asociaciones entre éstos y los genes de interés agronómico. Además, muchos de ellos están asociados a genes letales, como el albinismo.

Los marcadores moleculares hacen referencia a un fenotipo o patrón molecular derivado tanto de genes -expresados como proteínas e isoenzimas- como de segmentos específicos de ADN pertenecientes a regiones codificantes o no-codificantes del genoma de un individuo (13). Existen dos tipos básicos de marcadores moleculares: 1) los basados en un producto génico, como las isoenzimas y las proteínas; y 2) los basados en fragmentos de ADN amplificados, como RFLPs, RAPDs, AFLPs, SSR o microsatélites, SCARs, ISSRs, etc. (33). De acuerdo con García (15), las ventajas de los marcadores moleculares respecto de otros tipos de marcadores pueden resumirse en las siguientes: a) no se requiere la planta entera para determinar el genotipo; b) permiten detectar toda la variación alélica de una población; c) dado que la mayoría son co-dominantes, permiten diferenciar los individuos heterocigotas de los homocigotas; d) son fenotípicamente neutrales, es decir sin efecto sobre la morfología o la fisiología del individuo; e) no son epistáticos, vale decir que no se afectan unos con otros; y f) no son afectados por el ambiente. Una enumeración de sus aplicaciones puede consultarse en el Capítulo 6.



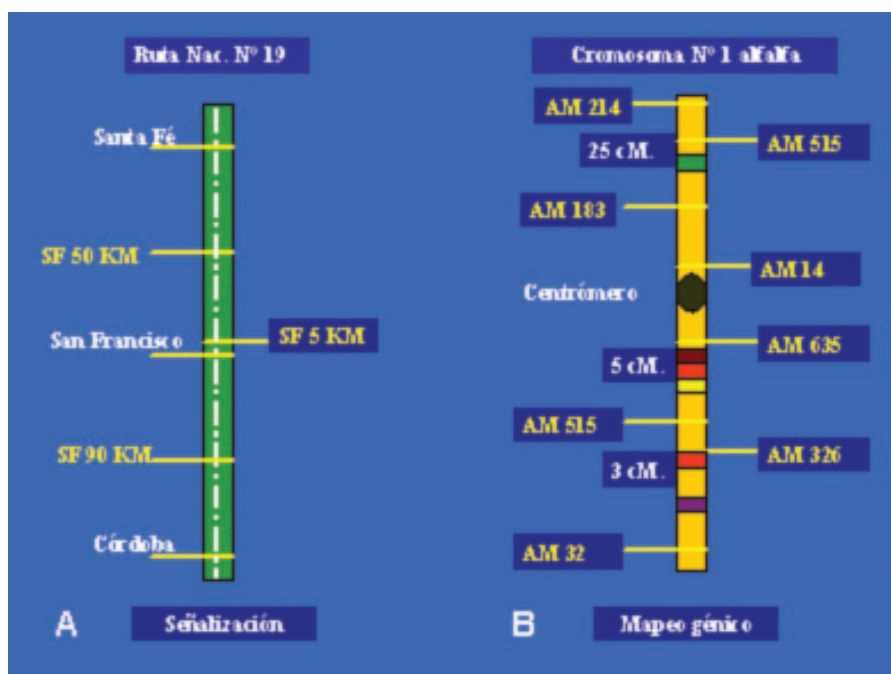


FIGURA 16- Esquema comparativo del proceso de señalización de una ruta (A) y de mapeo genético (B). En éste último, las barras de colores son los genes y los sectores identificados como AM son los marcadores moleculares.

En términos prácticos, el empleo de marcadores moleculares para la ubicación de genes tiene un cierto paralelismo con el proceso de señalización de una ruta (Figura 16A), que supone medir las distancias entre localidades y colocar señales indicativas en base a esos valores. La localización de marcadores moleculares ligados a genes de interés agronómico (en este caso resistencia a enfermedades), si bien conceptualmente similar a esa señalización, es un proceso inverso. Asumiendo que la ruta es un determinado cromosoma, y que los genes presentes en éste son las ciudades, el proceso de localización consiste en colocar primero las señales (marcadores moleculares) y luego determinar el grado de asociación física (ligamiento) y la distancia (mapeo genético) entre esas señales y los genes (Figura 16B). Esto último es el resultado de un complejo proceso que incluye diversos análisis de co-segregación entre el carácter en estudio (fenotipo) y los marcadores moleculares (genotipo). Las distancias se expresan en *centimorgans* o unidades de recombinación.

### Mapas genéticos del Género *Medicago*

La construcción de mapas genéticos ofrece numerosas posibilidades para el mejoramiento de especies vegetales, porque –entre otras cosas- permite el análisis completo del genoma, la descomposición de las características complejas en sus componentes mendelianos, la localización de regiones que controlan características de importancia agronómica y la cuantificación de su participación relativa en la determinación final del carácter en cuestión.

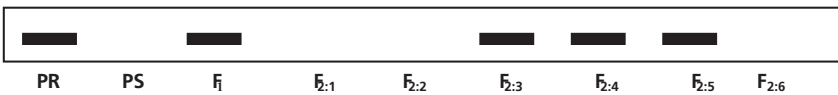
Dentro del género *Medicago* se han desarrollado mapas genéticos en la especie diploide *Medicago truncatula* (42, 4), que –en base a la menor complejidad de su genoma- se utiliza como modelo para diversos estudios genómicos. De acuerdo con la información generada, se han desarrollado también mapas saturados de marcadores moleculares en la alfalfa cultivada o tetraploide (3). En ese sentido, la saturación de estos mapas con un gran número de marcadores facilitará significativamente la detección y el posterior mapeo de genes de resistencia a las diferentes enfermedades que afectan al cultivo.

Una vez identificados, esos genes podrán ser transferidos a poblaciones sintéticas mediante esquemas de selección asistida por marcadores moleculares.

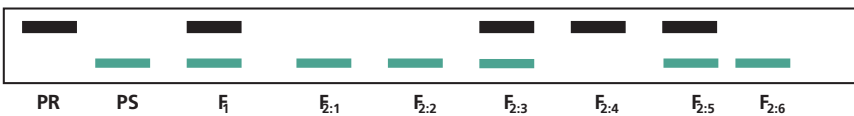
### Selección asistida por marcadores moleculares

Como su nombre lo indica, la selección asistida por marcadores moleculares es la implementación de un esquema de selección de individuos auxiliado por técnicas moleculares. La identificación de un segmento de ADN (marcador) ligado a un gen de interés agronómico posibilita su utilización en un sistema de selección indirecta basada en ese marcador, que se puede visualizar como una banda polimórfica en un gel de agarosa o de poliacrilamida (Figura 17). El polimorfismo del marcador puede expresarse por la presencia o ausencia de las bandas, como en el caso de los marcadores dominantes RAPDs y AFLPs, o por la presencia de dos bandas de diferente peso molecular, como en el caso de los marcadores codominantes RFLPs y Microsatélites. En el caso de los marcadores dominantes sólo un alelo es visualizable, en tanto que el otro se considera «nulo» (Figura 17A). Por el contrario, la ventaja de los marcadores co-dominantes –que

A: Marcador dominante



B: Marcador codominante



**FIGURA 17:** Representación esquemática de la segregación de un marcador molecular (bandas) en un gel. A: Segregación de un marcador dominante en una población de mapeo derivada del cruzamiento de un individuo resistente por otro susceptible. B: La misma situación pero con un marcador co-dominante, donde los individuos  $F_1$ ,  $F_{2:3}$  y  $F_{2:5}$  son heterocigotas. Referencias: PR: Padre resistente, PS: Padre susceptible,  $F_1$ : Híbrido (RxS),  $F_2$ : Progenies resultantes de la autofecundación de la  $F_1$ .

permiten visualizar ambos alelos- es la factibilidad de identificar a los individuos heterocigotas de la generación segregante ( $F_2$ - $F_5$ ) o de la  $F_1$  de un cruzamiento (Figura 17B).

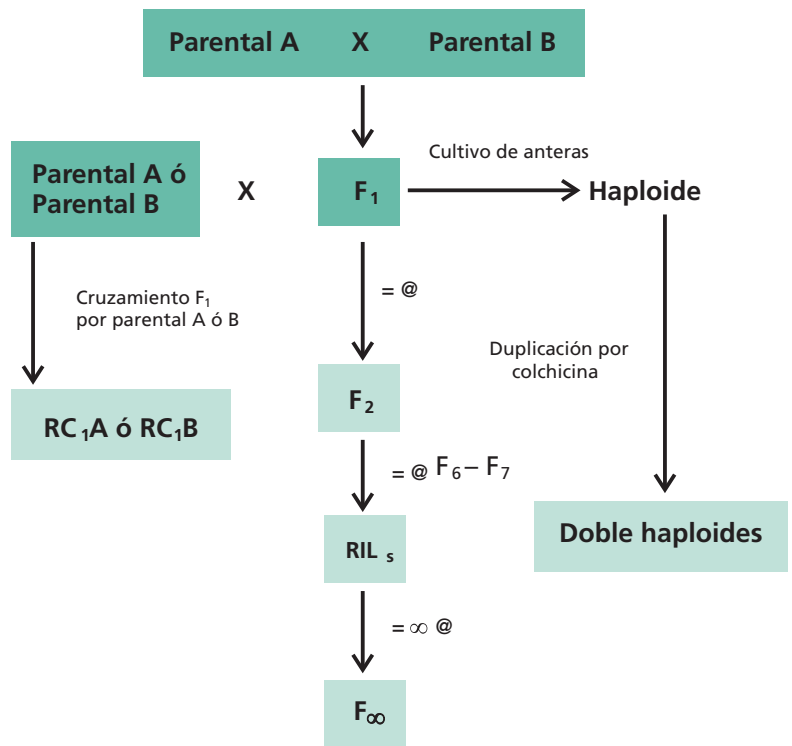
### Poblaciones de mapeo

La construcción de un mapa genético se hace sobre la base de una población segregante o población de mapeo, de las cuales existen diversos tipos: generación  $F_2$ ; líneas endocriadas recombinantes o  $RIL_5$  (por su siglas en inglés: *Recombinant Inbreed Lines*), que usualmente llegan hasta generaciones  $F_6$ - $F_7$ ; generaciones segregantes avanzadas ( $F_n$ ); retrocruzamientos; y poblaciones derivadas de haploides duplicados (9) (Figura 18). No obstante, es importante recordar que todas ellas derivan del cruzamiento inicial de dos individuos contrastantes para la característica en estudio. En el caso particular de la detección de genes de resistencia a enfermedades, la población de mapeo ideal resultará del cruzamiento de un individuo resistente o tolerante por otro susceptible. En ese contexto, es posible analizar la co-segregación mendeliana de la resistencia y de los marcadores moleculares que se utilicen.

La estructura genética de una especie, su modo de reproducción (autogamia o alogamia) y/o su tolerancia a la endocría condicionan fuertemente el tipo de población de mapeo a emplear. En el caso particular de la alfalfa, que además de autotetraploide manifiesta una marcada depresión por endocría, la prácticamente única población de mapeo viable es la derivada de haploides duplicados. La forma de obtener esta población es cruzando dos clones o plantas individuales de alfalfa, uno resistente y el otro

susceptible, y luego cultivar *in vitro* el polen haploide de esa F1 en medios específicos para finalmente duplicarlos con el empleo de colchicina.

El número mínimo de individuos segregantes a utilizar en la población de mapeo depende de la herencia del carácter en cuestión. Para caracteres cualitativos, controlados por 1 a 3 genes, el número de individuos no debería ser menor a 100. Para el caso de caracteres cuantitativos, cuya expresión está controlada por varios genes, el número debería ser superior a 200. Obviamente, el número de individuos segregantes que se emplee tiene también su importancia para los análisis estadísticos que forman parte del proceso, dado que un número inferior al mínimo recomendado afectará la segregación mendeliana del marcador y, por ende, dificultará o imposibilitará el mapeo del gen o genes en cuestión.



**FIGURA 18-** Diagrama representativo de los diferentes tipos de poblaciones de mapeo y su modo de generación. Referencias: @: autofecundación; X: Cruzamiento; F<sub>1</sub>: Generación híbrida; F<sub>2</sub>: Progenies segregantes derivadas de la autofecundación de la F<sub>1</sub>; RILs: líneas endocriadas recombinantes (hasta F<sub>6</sub>-F<sub>7</sub>); F<sub>n</sub>: Progenies derivadas de sucesivas generaciones de autofecundación; RC<sub>1</sub>A: Población de retrocruzamiento derivada del cruzamiento de la F<sub>1</sub> con el parental A y RC<sub>1</sub>B: Población de retrocruzamiento derivada del cruzamiento de la F<sub>1</sub> con el parental B.

### Análisis genómico a través de marcadores moleculares

En relación a las estrategias de mapeo disponibles para la detección de genes de resistencia a una enfermedad, las más utilizadas son dos: 1) el mapeo tradicional, en el que –mediante el uso de un gran número de marcadores moleculares– se hace una caracterización genotípica de todos los individuos de la población (12); y 2) la técnica denominada BSA (por sus siglas en inglés: *Bulk Segregant Analysis*), que fuera propuesta por Michelmore y col. (27). La primera estrategia exige más trabajo y tiempo pero, en compensación, aumenta la probabilidad de detectar genes de resistencia ligados a un determinado marcador molecular y la posibilidad de detectar genes de efecto menor. En contraposición, la técnica BSA –que se basa en la conformación y posterior análisis de *bulks* o grupos extremos (*Bulk R*= resistente y *Bulk S*= susceptible) constituidos cada uno por un número reducido de individuos– permite una rápida detección de los genes de resistencia a través de la simplificación del trabajo de mapeo. Si bien el análisis de los *bulks* agiliza significativamente el proceso de identificación de genes de resistencia, favorece mayormente la probabilidad de detectar genes de efecto mayor en detrimento de los genes de efecto menor.

Explicado con más detalle, el objetivo de la técnica BSA consiste en detectar diferencias entre dos muestras agrupadas de ADN provenientes de una población segregante.



duos para constituir los *bulks* se realiza identificando los fenotipos extremos (R y S) de una población segregante para la enfermedad. Tanto el ADN de las líneas progenitoras como el de los *bulks* es analizado con un cierto número de marcadores moleculares, seleccionándose aquellos que exhiban bandas presentes en una muestra pero ausentes en la otra, y verificando a su vez el origen parental del marcador. Esta evidencia preliminar de ligamiento génico entre el marcador polimórfico y el locus blanco es posteriormente confirmada a través de un análisis de co-segregación entre el marcador y el grado de resistencia con todos los individuos de la población segregante. En caso de confirmarse el ligamiento, se puede calcular la frecuencia de recombinación entre el marcador y el locus blanco.

## Tipos de marcadores moleculares utilizados en la identificación de genes

Si bien en la actualidad es posible contar con un gran número de marcadores moleculares (ver inicio de esta sección), los más utilizados son los Microsatélites y los AFLP. Entre las principales ventajas que ofrecen para el análisis genómico se incluyen su gran capacidad para detectar poli-morfismos entre genotipos, su alta reproducibilidad y su amplia cobertura genómica. A continuación se detalla una breve descripción de cada uno de ellos:

**Microsatélites:** El genoma de los eucariotas contiene una clase especial de secuencias repetidas de ADN denominadas microsatélites (25) o secuencias simples repetidas (SSRs) (41). Estas secuencias están compuestas por motivos menores a seis pares de bases repetidos en cadena o *tandem*. Actualmente, los microsatélites son considerados como uno de los más importantes marcadores moleculares para numerosas especies superiores (44).

El análisis de microsatélites se basa en la reacción en cadena de la polimerasa o PCR (por sus siglas en inglés: *Polymerase Chain Reaction*) (Figura 20). En las plantas, los microsatélites son en general altamente informativos, locus-específicos y co-dominantes (22, 45, 26, 34). Debido a su naturaleza multialélica, los microsatélites también ofrecen un gran potencial para estudios de evolución y parentesco genético (7). Sin embargo, la principal desventaja es su distribución desigual a lo largo de los cromosomas, tendiendo a concentrarse en áreas pericentroméricas y teloméricas, lo que deja sin cobertura considerables espacios de los brazos cromosómicos (36). El modo de subsanar este inconveniente es combinar su empleo con AFLPs u otros marcadores moleculares que exhiban una distribución aleatoria en el genoma y que cubran las regiones cromosómicas no alcanzadas por los microsatélites.

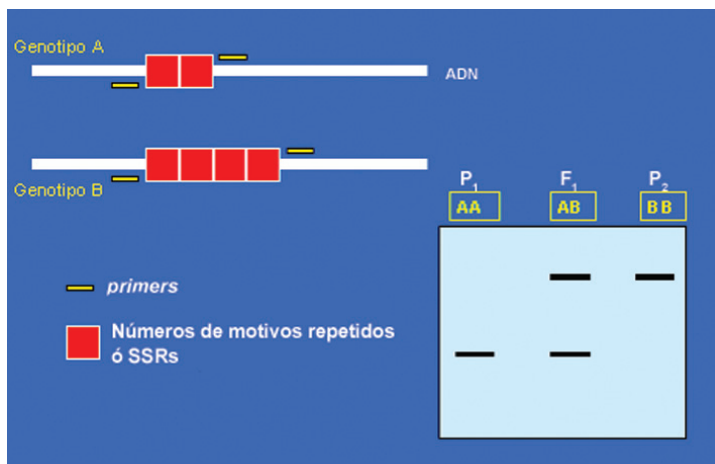
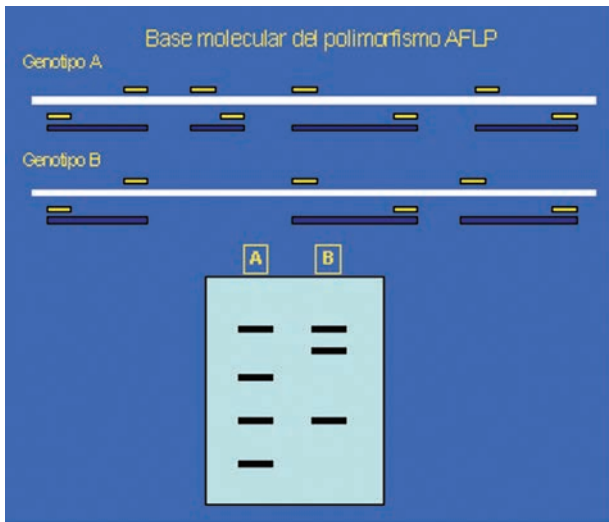


FIGURA 20- Esquema de la determinación de la base molecular del polimorfismo entre dos genotipos parentales (A y B) y su F<sub>1</sub> revelado a través de microsatélites o SSRs.

En la mayoría de las especies vegetales, los microsatélites exhiben un mayor nivel de polimorfismo que otros tipos de marcadores moleculares (35, 36, 6). No obstante, para el caso de la alfalfa y otras especies poliploides, donde el tamaño del genoma es considerablemente grande, el empleo de esta técnica se hace lento y costoso. Por otro lado,



sólo alrededor del 30% al 50% de los *primers* desarrollados para la amplificación de las secuencias microsatelitales resultan funcionales y apropiados para estudios genéticos (36, 6). Aún así, existen algunos trabajos publicados que señalan la utilización exitosa de microsatélites para la detección de genes de resistencia en diversos cultivos (31, 5, 8).



**FIGURA 21-** Esquema de la determinación de la base molecular del polimorfismo entre dos genotipos parentales (A y B) y su  $F_1$  revelado a través de AFLPs.

**AFLPs:** Los AFLPs (por sus siglas en inglés: *Amplified Fragment Length Polymorphism*) o polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados son marcadores dominantes y de distribución aleatoria en el genoma. Mediante la utilización de la reacción PCR, la técnica consiste en una amplificación selectiva de fragmentos de restricción obtenidos por la digestión del ADN genómico. El desarrollo de AFLPs involucra básicamente tres etapas: i) la restricción o corte del ADN y la ligación de oligonucleótidos denominados *adaptadores*; ii) la amplificación selectiva de los conjuntos de fragmentos de restricción generados; y iii) la separación de los fragmentos amplificados en un gel para su posterior análisis (Figura 21). La

amplificación vía PCR de los fragmentos de restricción se logra utilizando un adaptador y una secuencia del sitio de restricción como sitios blanco para el pegado (*annealing*) de los *primers*. La amplificación selectiva se logra a través del uso de *primers* específicos que son complementarios de los nucleótidos que flanquean los sitios de restricción. Si bien el número de fragmentos que pueden ser analizados simultáneamente depende de la resolución del sistema de detección empleado, se puede amplificar un promedio de 50 a 100 fragmentos de restricción con el uso de geles de poliacrilamida. En los últimos años, la técnica de AFLPs se ha convertido en una herramienta poderosa para la caracterización (*fingerprinting*) de ADN de origen y complejidad variables (43) y para la detección de genes de resistencia a enfermedades y plagas en especies como papa (37) y tomate (10). En alfalfa, Obert y col. (30) emplearon los AFLPs para identificación de dos genes responsables de la resistencia a mildiu.

### Selección de parentales para el mapeo de genes de resistencia a enfermedades en alfalfa

Los clones o genotipos parentales de alfalfa que se empleen para desarrollar una población de mapeo deben reunir los requisitos que se detallan a continuación. Tanto el cumplimiento de estos requisitos como la calidad técnica de todo el proceso de desarrollo en su conjunto, son cruciales para una efectiva identificación y un preciso mapeo de los genes de resistencia.

- **Distancia genética entre clones parentales :** cuanto mayor sea la distancia genética entre los parentales extremos (resistente y susceptible), mayor será la posibilidad de encontrar entre ellos marcadores polimórficos que sean informativos y útiles para el mapeo de genes de resistencia.
- **Caracterización fenotípica de los parentales:** una gran parte del éxito del mapeo de genes de resistencia a enfermedades depende de la correcta elección de los padres contrastantes para la enfermedad en estudio. Cuanto mayor sea el contraste de la reac-

ción a la enfermedad, mayor será la probabilidad de éxito y menor la posibilidad de distorsiones en la segregación mendeliana del carácter dentro de la población de mapeo.

- **Cuidados en el cruzamiento de los parentales y en la generación de las progenies segregantes:** cuando se realice el cruzamiento entre los parentales contrastantes, deberá evitarse por todos los medios la contaminación con cualquier otra fuente de polen, dado que esto provocaría la producción de  $F_1$  indeseables y, por ende, la invalidación de todo el proceso posterior de mapeo.

- **Caracterización fenotípica de las progenies segregantes:** el punto más crítico de todo proceso de mapeo de genes de resistencia a enfermedades es la caracterización fenotípica de las progenies derivadas de haploides duplicados o de retrocruzamientos. Para ello, deberán utilizarse adecuados diseños estadísticos que contemplen el suficiente número de repeticiones. Complementariamente, las evaluaciones deberían llevarse a cabo en el mayor número posible de localidades, de manera de tener una confirmación certera del fenotipo de cada progenie y de sus respectivos parentales. Esto es particularmente indispensable cuando se trabaja con enfermedades controladas por patrones de herencia cuantitativa, donde el efecto del ambiente adquiere una importancia significativa. Dado que la identificación y posterior mapeo de genes deriva básicamente de un análisis de co-segregación entre genotipo (patrón de bandas del marcador) y fenotipo (resistencia o susceptibilidad de las progenies segregantes), la caracterización errónea de la resistencia puede invalidar todo el proceso, ya sea imposibilitando la identificación o lo que es aún peor identificando falsos QTLs (por sus siglas en inglés *Quantitative Trait Loci*).

- **Extracción de ADN y caracterización genotípica de los individuos de la población segregante:** deberá extremarse el cuidado de todos los pasos destinados a la obtención de un ADN de máxima calidad (ausencia de contaminantes y de fracciones degradadas por nucleasas). En igual sentido, la precisa identificación de todo el material –tanto en el campo como en el laboratorio– contribuye a evitar la obtención de resultados indeseados.

- **Elección del marcador molecular y de los *primers*:** deberán elegirse aquellos marcadores capaces de revelar el mayor nivel de polimorfismo entre parentales, que sean de fácil y rápida generación y que posean la mayor cobertura genómica posible. Como ya fuera dicho, los candidatos más usuales son los microsatélites y los AFLPs. También fue señalado que la combinación de ambos marcadores provee una mayor cobertura del genoma y aumenta la probabilidades de detectar genes de resistencia. Entre los *primers*, deberán escogerse aquellos que brinden resultados claros y reproducibles y que estén distribuidos en todos los cromosomas.

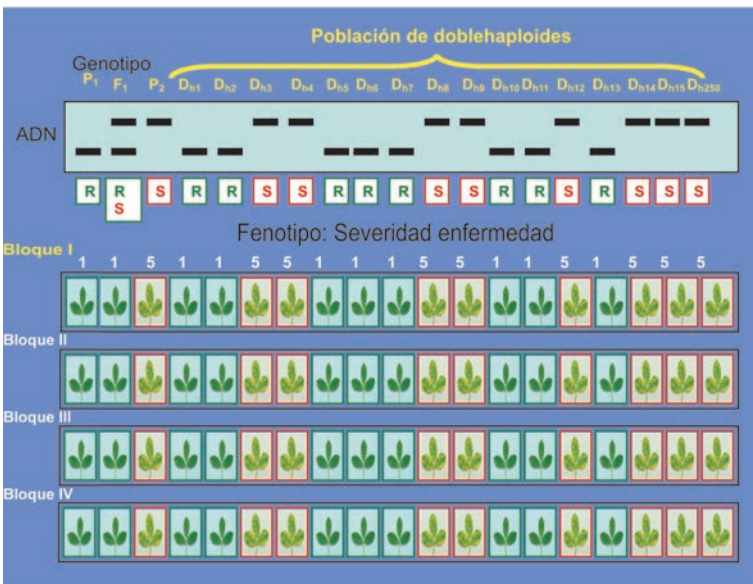
- **Análisis estadísticos:** la utilización de programas estadísticos especialmente diseñados para el mapeo de genes aumenta significativamente las probabilidades de detección de genes o QTLs de resistencia. En el caso particular de la alfalfa, deberá prestarse particular atención a los ajustes necesarios para especies poliploides.

## Mapeo de genes de resistencia en alfalfa

Teniendo en cuenta todos los conceptos anteriormente desarrollados, el proceso completo de mapeo de genes de resistencia a enfermedades en alfalfa puede resumirse de la siguiente manera: a) Cruzamiento de los clones parentales resistente (R) X susceptible (S) para obtener la progenie  $F_1$ ; b) Obtención de familias de haploides duplicados o doblehaploides a través del tratamiento del polen de la  $F_1$  con colchicina; c) Inoculación de los parentales, la  $F_1$  y las progenies de doblehaploides con el patógeno en cuestión, caracterizando con la mayor precisión posible la reacción de los materiales a la enfermedad. Estos ensayos deberán contar con el adecuado diseño estadístico y con el sufi-

ciente número de repeticiones. En el caso de enfermedades con resistencia cuantitativa, las evaluaciones deberán realizarse en diversas localidades o ambientes; d) Extracción de ADN de los parentales, de la  $F_1$  y de las progenies de doblehaploides; e) Caracterización genotípica de los materiales mencionados en el punto anterior con el mayor número posible de marcadores moleculares a fin de incrementar las probabilidades de detección de marcadores ligados a genes de resistencia. Este paso puede significar la evaluación de una gran cantidad de marcadores (decenas o centenas) hasta encontrar uno o más ligado/s al o los gen/es buscado/s; f) Realización de análisis estadísticos que permitan no sólo confirmar el ligamiento entre el marcador (fragmento de ADN) y el gen de resistencia sino también el cálculo de la distancia (en *centimorgans*) entre el marcador y el gen y la determinación de la importancia (efecto mayor o menor) del gen en la expresión de la resistencia.

Todo el proceso descrito brevemente en el párrafo anterior puede demandar un mínimo de dos o tres años de arduo trabajo. Como contrapartida, una vez identificados los marcadores ligados a los genes de resistencia, la implementación de un esquema de selección asistida por estos marcadores moleculares agiliza notablemente el desarrollo de poblaciones o cultivares resistentes, dado que la selección de los individuos se hace solamente en función de la presencia del marcador (banda) en cuestión.

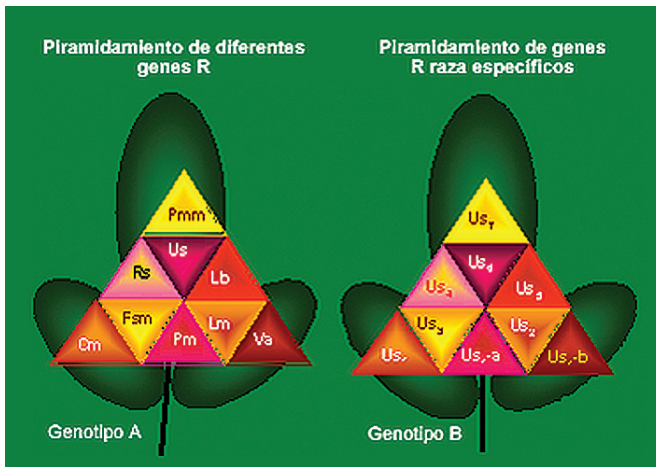


**FIGURA 22** – Esquemización de la co-segregación entre un marcador molecular y un gen de resistencia para manchón foliar amarillo (*Leptotrochila medicaginis*). Nótese que la presencia de las bandas R se corresponde con un fenotipo de severidad grado 1 (hoja sana).

te, si el marcador no estuviera ligado al gen de resistencia se observaría en las progenies de doblehaploides la falta de co-segregación entre las bandas del marcador y el fenotipo (resistencia o susceptibilidad).

### Piramidamiento de genes de resistencia asistido por marcadores

La selección asistida por marcadores moleculares puede ser de gran utilidad para el desarrollo de poblaciones o cultivares de alfalfa con resistencia a diferentes enfermedades. Si se contara con marcadores moleculares ligados a genes de resistencia para diferentes patógenos -o para razas de un mismo patógeno- sería posible acumular o *piramidar* dichos genes en individuos o poblaciones sintéticas a través de la implementación de un esquema de retrocruzamientos asistido por marcadores moleculares (Figura 23).



**FIGURA 23-** Piramidamiento de genes de resistencia a enfermedades de la alfalfa. Genotipo A: acumulación de genes de resistencia a diferentes patógenos. Genotipo B: acumulación de genes de resistencia raza-específicos a la roya de la hoja (*Uromyces striatus*). Referencias: Pmm: *Phytophthora megasperma medicaginis*; Us: *Uromyces striatus*; Rs: *Rhizoctonia crocorum*; Lb: *Leptospheraulina briosiana*; Fsm: *Fusarium solani*; Lm: *Leptotrochila medicaginis*; Pm: *Phoma medicaginis*; Va: *Verticillium albo-atrum*; Cm: *Cercospora medicaginis*; Us<sub>1</sub>-Us<sub>30</sub>: genes de resistencia a diferentes razas a *Uromyces striatus*.

## Metodologías adicionales para desarrollar resistencia a enfermedades

- **Clonado de genes:** Los genes de resistencia a enfermedades pueden ser aislados o clonados en función de la información proveniente de genes clonados previamente o de aquellos identificados por medio de marcadores moleculares. El proceso tiene como punto de partida la construcción de bibliotecas genómicas (*libraries*) a través de dos enzimas de restricción de ADN con sitios de acción diferentes. La referencia para el inicio del proceso es la posición del marcador molecular previamente identificado o de un gen clonado anteriormente. Los fragmentos resultantes de la acción de cada enzima de restricción (I y II) son clonados en un vector apropiado y utilizados para la conformación de bibliotecas

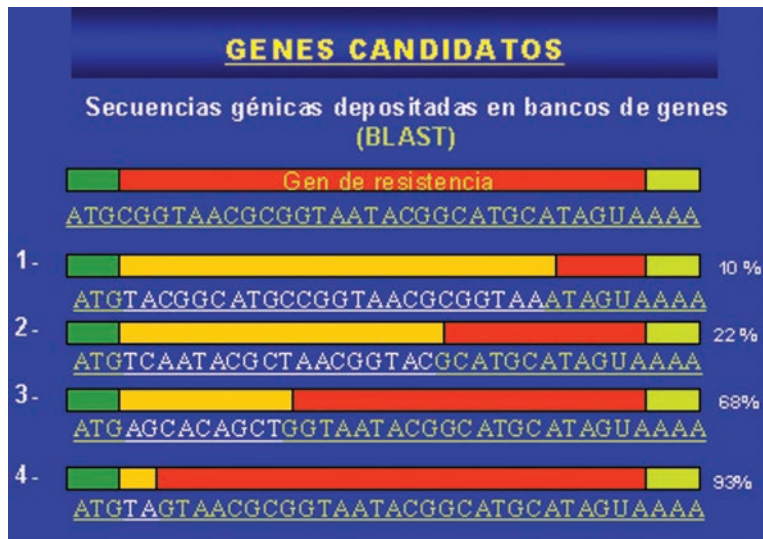
o *libraries* (I y II), cada una con sus respectivos clones. Luego, los clones de la biblioteca I se emplean para la identificación de regiones homólogas en la biblioteca II y viceversa. Este proceso continúa hasta que se pueda reconstruir el fragmento cromosómico en cuestión y se pueda determinar la posición del gen a clonar.

Esta metodología de clonación se denomina «caminata cromosómica» (*chromosome walking*) porque figurativa-mente consiste en caminar a través del cromosoma hasta llegar a la posición donde se encuentra el gen de resistencia a clonar (1). Lo trascendente de esta técnica es la posibilidad de aislar genes y tornarlos disponibles para desarrollar genotipos resistentes por medio de la transgénesis, ya sea vía *Agrobacterium* o biolística (ver Capítulo 6).

- **Identificación de genes candidatos:** El secuenciamiento de las regiones expresadas del genoma o ESTs (por sus siglas en inglés: *Expressed Sequence Tags*) permite identificar genes candidatos de resistencia o secuencias homólogas de éstos (24). La metodología consiste en la construcción de una biblioteca genómica con las ESTs que se detecten y luego compararlas –a través de un programa informático denominado BLAST– con otras disponibles en bancos de secuencias previamente determinadas. De ese modo, se estima el porcentaje de homología de un EST particular comparado con algún gen involucrado en alguna de las vías metabólicas que conducen a la resistencia (Figura 24). Los genes así identificados podrán luego ser utilizados en el desarrollo de individuos o poblaciones resistentes.

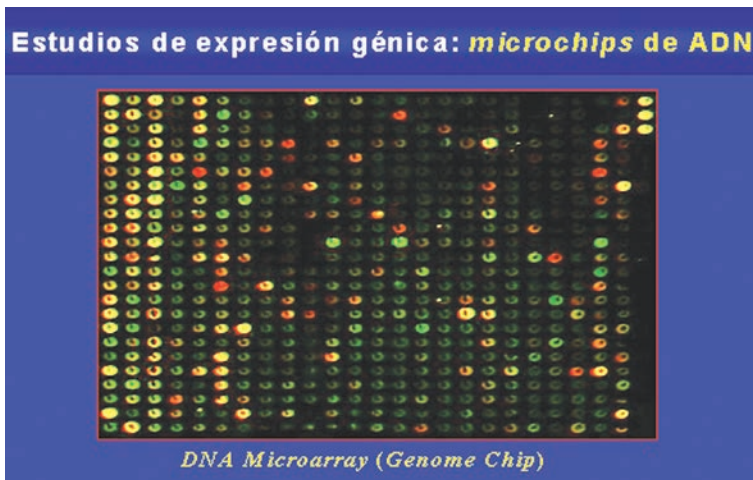
- **Chips de ADN:** El cDNA proveniente de los genes de una planta que se expresan durante la evolución de una enfermedad puede ser inmovilizado *in silico* para conformar lo que se denomina un *chip* de ADN (*DNA microarray*). Ese *chip* es luego hibridado con el ARN proveniente de plantas inoculadas con un determinado patógeno y finalmente analizado -bajo luz fluorescente- en un lector de fluorescencia. Los pocillos (*wells*) que manifiestan fluorescencia son indicativos de los genes que se activan durante el proceso de defensa posterior a la infección (Figura 25). Esos genes pueden luego ser utilizados en el desarrollo de genotipos resistentes.





**FIGURA 24** – Proceso de identificación de genes candidatos de resistencia. La homología (%) de las secuencias expresadas del genoma o ESTs (identificadas como 1, 2, 3 y 4) respecto de un gen de resistencia ubicado en un banco de genes es estimada a través del paquete informático BLAST. En este caso, la EST 4 presenta 93% de homología con el gen en cuestión y es candidata a ser el gen de resistencia.

tribuyen a la obtención de plantas vigorosas y, por ende, más tolerantes al ataque de los patógenos. También el mejoramiento del drenaje del suelo, el correcto manejo del cultivo respetando los ciclos fisiológicos de la alfalfa y el adelantamiento del corte o pastoreo pueden atenuar los daños de algunas enfermedades. No obstante, el método más práctico y económico es la utilización de cultivares resistentes. Afortunadamente, existe en el mercado un alto número de cultivares con buenos niveles de resistencia para muchas de las principales enfermedades de la alfalfa.



**FIGURA 25** - Chip de ADN (*DNA microarray*) donde, luego de la hibridación con el ARN proveniente de la planta infectada con un patógeno, se aprecian los puntos fluorescentes correspondientes a los genes activados durante la reacción de defensa a la enfermedad. Adaptada de Shi (39).

## Consideraciones finales

Como se ha visto en la primera parte de este capítulo, la alfalfa se ve afectada por un número importante de enfermedades que disminuyen su producción, su persistencia y su calidad forrajera. La naturaleza perenne del cultivo y el amplio rango de hospedantes de algunos patógenos, unido a la elevada supervivencia en el suelo de algunos de éstos últimos, reducen el valor de las rotaciones como práctica de control en varios casos. En otros, el mantenimiento de buenos niveles de fertilidad edáfica y adecuados valores de pH con-

tribuyen a la obtención de plantas vigorosas y, por ende, más tolerantes al ataque de los patógenos. También el mejoramiento del drenaje del suelo, el correcto manejo del cultivo respetando los ciclos fisiológicos de la alfalfa y el adelantamiento del corte o pastoreo pueden atenuar los daños de algunas enfermedades. No obstante, el método más práctico y económico es la utilización de cultivares resistentes. Afortunadamente, existe en el mercado un alto número de cultivares con buenos niveles de resistencia para muchas de las principales enfermedades de la alfalfa.

La segunda parte del capítulo se ha dedicado a describir con cierto detalle la aplicación de los marcadores moleculares al desarrollo de genotipos con resistencia a las enfermedades. De esa forma, el mejoramiento genético del cultivo puede hacerse en forma más eficiente y precisa. Paralelamente, para aquellos patógenos en los que se carece de fuentes de resistencia genética o de efectivos protocolos de selección, el desarrollo de materiales transgénicos también abre un panorama muy alentador para el futuro mediato (Cap. 6).



## Bibliografía

1. ALBERTS, B., D. BRAY, J. LEWIS, J., M. RAFF, K. ROBERTS and J. WATSON. 1994. Molecular Biology of the Cell. Garland Publishing, 1415 p.
2. BASIGALUP, D. H. y E. H. HIJANO. 1986. Detección y frecuencia de plagas y enfermedades de la alfalfa en Castelar como base de la labor fitotécnica. ACINTACNIA Año III – N° 19: 35-41.
3. BROUWER, E. C. and T. C. OSBORN. 1999. A molecular marker linkage map of tetraploid alfalfa (*Medicago sativa* L.). Theor. Appl. Genet. 99: 1194-1200.
4. BRUMER, E. C., J. H. BOUTON and G. KOCHERT. 1993. Development of an RFLP map in diploid alfalfa. Theor. Appl. Genet. 86: 129-137.
5. BRUNELLI, K. R. 1999. Mapeamento de genes de resistência a *Puccinia polysora* Undrew em milho (*Zea mays*). Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil, 114 p.
6. BRYAN, G. J., A. J. COLLINS, P. STEPHENSON, A. ORRY and J. B. SMITH. 1997. Isolation and characterization of microsatellites from hexaploid bread wheat. Theor. Appl. Genet. 94: 557-563.
7. BUCHANAN, F. C., L. J. ADAMS, R. P. LITTLEJOHN, J. F. MADDOX and A. M. CRAWFORD. 1994. Determination of evolutionary relationships among sheep breeds using microsatellites. Genomics 22: 397-403.
8. CHANTRET, V., P. SOURDILLE, M. RODER, M. TAVAUD, M. BERNARD and G. DOUSSINAULT. 2000. Location and mapping of the powdery mildew resistance gene *MIRE* and detection of a resistance QTL by bulked segregant analysis (BSA) with microsatellites in wheat. Theor. Appl. Genet. 100: 1217-1224.
9. COELHO, A. S. G. 2000. Considerações gerais sobre a análise de QTL's. In: Análise de QTL no melhoramento de plantas. FUNAPE-UFG, Brasil, 224 p.
10. COLWYN, M. T., P. VOS, M. ZABEAU, D. A. JONES, K. A. NORCOTT, B. P. CHADWICK and J. D. G. JONES. 1995. Identification of amplified restriction fragment polymorphism (AFLP) markers tightly linked to tomato Cf-9 gene for resistance to *Cladosporium fulvum*. Plant Journal 8: 785-794.
11. CONCI, L., N. MENEGUZZI, E. GALDEANO, L. TORRES, C. NOME and S. NOME. 2005. Detection and molecular characterization of an alfalfa phytoplasma in Argentina that represents a new subgroup in the 16S rDNA Ash Yellow group ('*Candidatus* Phytoplasma fraxini'). European J. Plant Path. 113: 255-265.
12. EDWARDS, M. D., C. W. STUBER and J. F. WENDEL. 1987. Molecular-marker-facilitated investigations of quantitative trait loci in maize. I. Numbers, genomic distribution and types of gene action. Genetics 116: 113-125.
13. FERREIRA, M. E. e D. GRATAPAGLIA. 1996. Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética (2<sup>da</sup> ed.). Embrapa-Cenargen, Brasília, Brasil, 220p.
14. FORMENTO, N. y N. VERZEGNASSI. 2001. La Alfalfa y sus Enfermedades en la Provincia de Entre Ríos. INTA Paraná. Informe Técnico s/n.
15. GARCÍA, G. 1997. Utilización de marcadores moleculares en mejoramiento. Caso Estudio: maíz. In: Seminario de Actualización Técnica: Biotecnología Agrícola. CPIA-CAIA-SRA. Buenos Aires, 6-7 Agosto, pp. 61-80.
16. GRAHAM, J. H., F. I. FROSHEISER, D. L. STUTEVILLE and D. C. ERWIN. 1979. A Compendium of Alfalfa Diseases. American Phytopathological Society (1<sup>st</sup> ed.). St. Paul, MN, USA.
17. HIJANO, E. H. 1979. Algunas enfermedades que afectan a la alfalfa en la República Argentina. Programa Alfalfa INTA. Proyecto Alfalfa FAO-INTA Arg 75-006. Buenos Aires, Argentina, 12 p.
18. HIJANO, E. H. y J. PÉREZ FERNÁNDEZ. 1995. Enfermedades de la alfalfa. In: E. H. Hijano y A. Navarro (ed) La Alfalfa en la Argentina. INTA, SubPrograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, pp. 125-146.
19. HIJANO, E. H., D. H. BASIGALUP, O. A. BRUNO, R. J. LEON, G. del V. RINALDI y M. del C. SPADA. 1986. Diagnósticos comparativos de problemas radiculares de alfalfa en tres localidades de la Argentina. RAM 2 (2): 5-12.
20. HIJANO, E. H. y M. del P. HUEGO. 1985. Corchosis: una nueva enfermedad de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la República Argentina. RAM 1 (2): 5-12.
21. ITRIA, C. D. y D. H. BASIGALUP. 1984. Alfalfa: enfermedades e insectos dañinos, nuevos o poco citados, para la Pampa Húmeda. ACINTACNIA Año I -N° 11: 21-27.
22. LAGERCRANTZ, U., H. ELLEGREN and L. ANDERSSON. 1993. The abundance of various polymorphic microsatellite motifs differs between plants and vertebrates. Nucleic Acids Res. 21: 1111-1115.

23. LEATH, K. T., D. C. ERWIN and G. D. GRIFFIN. 1988. Disease and Nematodes. *In*: A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill (Jr) (ed) Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA-CSSA-SSSA Agronomy Series 29. Madison, WI, USA, pp. 621-670.
24. LEWIN, B. 1999. Genes VII. Oxford University Press, UK, 975 p.
25. LITT, M. and J. A. LUTY. 1989. A hypervariable microsatellite revealed by *in vitro* amplification of a dinucleotide repeat within the cardiac muscle actin gene. *Amer. J. Human Genet.* 44: 397-401.
26. LIU, Z. W., R. M. BIYASHEV and M. A. SAGHAI-MAROOF. 1996. Development of simple sequence repeat DNA markers and their integration into a barley linkage map. *Theor. Appl. Genet.* 93: 869-876.
27. MICHELMORE, R. W., I. PARAN and R. V. KESELLI. 1991. Identification of markers linked to disease-resistance genes by bulked segregant analysis: A rapid method to detect markers in specific genomic regions by using segregating populations. *Proc. Nat. Acad. of Sci. (USA)* 88: 9828-9832.
28. MIKLAS, P. V., E. JOHNSON, V. STONE, J. S. BEAVER, C. MONTOYA and M. ZAPATA. 1996. Selective mapping of QTLs conditioning disease resistance in common bean. *Crop Sci.* 36: 1344-1351.
29. MORGAN, W. C. and D. G. PARBERRY. 1977. Effects of *Pseudopeziza* leaf spot disease on growth and yield in Lucerne. *Aust. J. Agric. Res.* 28: 1029-1040.
30. OBERT, D.E., D. Z. SKINNER and D. L. STUTEVILLE. 2000. Association of AFLP markers with downy mildew resistance in autotetraploid alfalfa. *Mol. Breeding* 6: 287-294.
31. OGLIARI, J. B. 1999. Identificação e localização de um gene de resistência de milho a *Exserohilum turcicum* (Pass) Leonard & Suggs através do uso de marcadores moleculares microssatélites. Tese (Doutorado)–Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil, 114p.
32. OSTAZESKI, S.A. y E. H. HIJANO. 1986. Enfermedades comunes de la alfalfa en la Argentina: revisión de sus síntomas, distribución e importancia. *In*: C. Bariggi, V. L. Marble, C. D. Itria y J.M. Brun (ed) Investigación, Tecnología y Producción de Alfalfa. INTA, Colección Científica, Bs. As., pp. 223-250.
33. O. WADT, L. H. e J. O. GIECO. 1997. Utilização de marcadores moleculares em genética e melhoramento de espécies alógamas. Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Universidade de São Paulo- Dep. de Genética, Piracicaba, Brasil, 112 p.
34. PROVAN, J., W. POWELL and R. WAUGH. 1996. Microsatellite analysis of relationships within cultivated potato (*Solanum tuberosum*). *Theor. Appl. Genet.* 92: 1078-1084.
35. RÖDER, M. S., V. KORZUM, K. WENDEHAKKE, J. PLASCHKE, M. TIXIER, P. LEROY and M. W. GANAL. 1998. A microsatellite map of wheat. *Genetics* 149: 2007-2023.
36. RÖDER, M. S., J. PLASCHKE, S. U. KONIG, A. BORNER and M. E. SORRELLS. 1995. Abundance, variability and chromosomal location of microsatellites in wheat. *Mol. Gen. Genet.* 246: 327-333.
37. ROUPPE, J., J. van der VOORT, P. WOLTERS, R. FOLKERTSMA, R. HUTTEN, P. van ZANDVOORT, H. VINKE, K. KANYUKA, A. BENDAHMANE, E. JACOBSEN, R. JANSSEN and J. BAKKER. 1997. Mapping of the cyst nematode resistance locus *Gpa2* in potato using a strategy based on comigrating AFLP markers. *Theor. Appl. Genet.* 95: 874-880.
38. SEMENIUK, G. 1979. Yellow Leaf Blotch. *In*: J. H. Graham, F. I. Froshaiser, D. L. Stuteville and D. C. Erwin (ed) A Compendium of Alfalfa Diseases. American Phytopathological Society (1<sup>st</sup> edition), St. Paul, MN, USA, p. 20.
39. SHI, L. 2002. DNA Microarray (Genome Chip). Monitoring the genome on a chip. [http://www. Gene-chips.com](http://www.Gene-chips.com) (fecha de consulta: 03/2007).
40. STUTEVILLE, D. L. and D. C. ERIWN. 1990. Compendium of alfalfa diseases. American Phytopathological Society (2<sup>nd</sup> ed.). St. Paul, MN, USA, 84 p.
41. TAUTZ, D., M. TRICK and G. A. DOVER. 1986. Cryptic simplicity in DNA is a major source of genetic variation. *Nature* 322: 652-656.
42. THOQUET, P., M. GHÉRARDI, E. JOURNET, A. KERESZT, J. M. ANE, J. M. PROSPERI and T. HUGUET. 2002. The molecular genetic linkage map of the model legume *Medicago truncatula*: An essential tool for comparative legume genomics and the isolation of agronomically important genes. *BMC Plant Biology* : 1-13.
43. VOS, P., R. HOGERS, M. BLEEKER, M. REIJANS, T. van de LEE, M. HORNES, A. FRIJTERS, J. POT, J. PELEMAN, M. KUIPER and M. ZABEAU. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res.* 23: 4407-4414.
44. WANG, Z., J. L. WEBER, G. ZHONG and S. D. THANKSLEY. , S. D. Survey of plant short tandem DNA repeats. *Theor. Appl. Genet.* 88: 1-6.
45. WU, K. S. and S. D. TANKSLEY. Abundance, polymorphism and genetic mapping of microsatellites in rice. *Mol. Gen. Genet.* 241: 225-2

*“El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina” constituye el más completo y actualizado tratado sobre la alfalfa en los países de habla hispana. Está destinado no sólo a profesionales, estudiantes de Agronomía y Veterinaria y productores ganaderos, sino también a toda persona interesada en esta valiosa forrajera. En él se resumen todos los avances científico-tecnológicos conseguidos por el INTA durante la última década. Cerca de cuarenta investigadores vuelcan sus conocimientos y experiencias en el tratamiento exhaustivo de temas tan variados como la morfología; el uso del agua y la radiación; la fijación simbiótica del Nitrógeno; el mejoramiento genético; la biotecnología aplicada al desarrollo de variedades; la selección asistida por marcadores moleculares para la resistencia a enfermedades; la evaluación de cultivares; la siembra directa; el manejo de insectos perjudiciales, enfermedades y malezas; la fertilización y el encalado; el manejo para la producción de carne y leche; la suplementación para la producción de carne; la conservación del forraje; el control del meteorismo; y la producción de semilla.*

*Los diversos aspectos del cultivo son tratados con la adecuada profundidad y el necesario rigor científico, incluyendo revisiones bibliográficas actualizadas y el desarrollo de los fundamentos básicos para la definición de prácticas concretas y de directa aplicación por parte de los productores ganaderos. Todo lo anterior está asistido por una gran cantidad de cuadros, fotos y figuras en color que facilitan la interpretación de la lectura y otorgan a la obra un valor adicional.*

ISBN: 978-987-521-242-8



Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria  
Rivadavia 1439 (CPA C1033AAE)- Buenos Aires, Argentina