

## CAPÍTULO 13

Producción de heno, silaje y  
henolaje de alfalfa

Gastón Urrets Zavalía,  
Néstor Juan y  
Enrique Viviani Rossi

## 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. En los sistemas de producción intensivos, que utilizan una variada gama de confinamiento animal, la alfalfa constituye también la principal fuente de fibra efectiva de calidad. A esto debe sumarse, entre otras virtudes, 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 (Berger *et al.*, 1985; Berger *et al.*, 1986) (Tabla 1). Por un lado, todas estas características justifican los esfuerzos dedicados a conservar el forraje de alfalfa, sea para transferir la producción primavera-estival a otras épocas del año o para aumentar la eficiencia de cosecha de nutrientes, lo que permite tanto una mayor carga animal como una mayor producción de carne o leche por unidad de superficie. Por otro lado, las reservas de alfalfa posibilitan un manejo más preciso de la alimentación a través de la conformación de raciones totalmente mezcladas (TMR) o raciones parcialmente mezcladas (PMR). Además, el forraje conservado se puede exportar a otras regiones fuera de su área de cultivo. Para ello, se utilizan diversas técnicas de conservación, tanto en seco como en húmedo, que serán descriptas y analizadas en el presente capítulo.

■ **Tabla 1.** Composición nutritiva del heno de alfalfa en función del corte en diferentes estados fenológicos. Adaptado de Holland y Kezar (1990).

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.

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 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, la producción individual, o ambas (Juan *et al.*, 1995).

La principal forma de conservación de la alfalfa en el mundo es la henificación. En Estados Unidos cerca del 25 % del total de alfalfa conservada se hace en forma de silaje y henolaje, mientras que el 75 % restante se hace en forma de heno. Según las estadísticas del USDA (2019), el volumen total de alfalfa conservada como heno –principalmente pura, pero también en mezcla con otras especies– alcanza los 52,6 millones de toneladas anuales, que se producen en 6,7 millones de hectáreas y con un rendimiento promedio de 7,84 t ha<sup>-1</sup>. La producción de silaje de alfalfa alcanza los 19,14 millones de t (MS), que se generan en 1,09 millones de hectáreas con un rendimiento promedio de 17,5 t ha<sup>-1</sup>.

En Argentina, el aprovechamiento directo de la alfalfa a través del pastoreo predomina sobre la cosecha mecánica, lo que hace que la superficie destinada a la producción de forraje conservado de calidad sea inferior a la de otros países productores. Si bien no existen estadísticas oficiales, Bragachini *et al.* (2018), por un lado, estimaron que en 2018 se produjeron en nuestro país cerca de 5,5 millones de toneladas de heno de alfalfa, provenientes de unas 800.000 hectáreas (70 % como rollos, 18 % como megafardos y 12 % como fardos, heno picado y embolsado, y otros formatos). Por otro lado, estimaban también una producción de 130.000 toneladas de silaje de alfalfa (principalmente en el formato de silobolsa), generadas en una superficie menor a 60.000 hectáreas.

No obstante, si se analiza la evolución que tuvo en Argentina la producción de forraje conservado de alfalfa, se aprecia un aumento sostenido basado en el avance tecnológico que ha tenido lugar en las últimas décadas, principalmente en materia de maquinarias específicas para tal fin. La aparición, en la década de 1980, de las enrolladoras revolucionó

la henificación del cultivo permitiendo reemplazar el alto requerimiento de mano de obra de otrora por medios mecánicos de gran capacidad de trabajo. Posteriormente, a partir del año 2008, con la instalación en nuestro país de empresas exportadoras de heno, comienza la adopción de las megaenfardadoras y la consiguiente producción de megafardos, que mejoran sustancialmente los aspectos logísticos relacionados con el flete y el almacenamiento, favoreciendo así tanto el comercio interno como el de exportación de heno. Este tipo de maquinaria trajo también aparejada la adopción paulatina del sistema de corte tipo segadora-acondicionadora, que aporta grandes beneficios para la obtención de forrajes conservados de calidad. En la década de 1990 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 (Bragachini, 1995; Bragachini *et al.*, 1995). Complementariamente, tanto la disponibilidad de nuevas variedades de alfalfa –con mayor producción, persistencia, sanidad y valor nutritivo– como el desarrollo de insumos químicos –desecantes, conservantes y aditivos– contribuyen también al aumento de la producción de forrajes conservados.

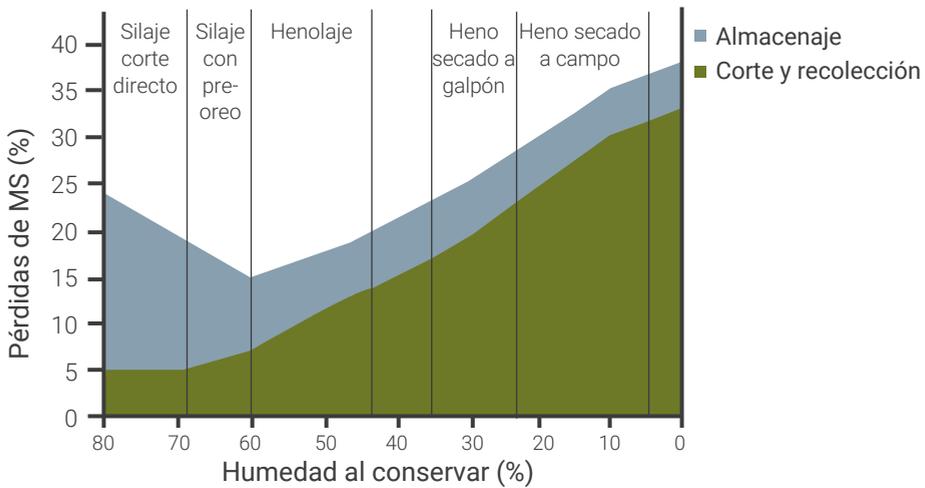
Cualquiera sea el método de conservación de alfalfa que se elija, es muy importante tener en cuenta que ninguno de ellos puede incrementar la cantidad ni la calidad del forraje en pie que se quiere conservar. Esto es así porque a partir del corte se producen pérdidas por diversos motivos (respiración, 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 (1970) 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 la Tabla 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 (1994), las pérdidas promedio en la producción de heno oscilan entre 24 y 28 % (de las cuales solo 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.

■ **Tabla 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 (1994).

Causa de pérdida	Pérdida de MS (%)		Cambios en la concentración de nutrientes (% de MS)		
	Rango	Normal	PB	FDN	TND
Respiración	1-7	4	0,9	1,7	-1,7
Lluvias					
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
Corte y acondicionado	1-4	2	-0,7	1,2	-1,4
Aireado andanas	2-8	3	-0,5	0,9	-1,2
Volteo andanas	1-3	1	0	0	0
Rastrillado	1-20	5	-0,5	1,0	-1,2
Recolección					
Fardo	2-6	4	-0,9	1,5	-1,9
Rollo	3-9	6	-1,7	3,1	-3,8
Picado (silaje)	1-8	3	0	0	0
Almacenamiento heno					
Intemperie	6-30	15	0	5,0	-7,0
Bajo techo	3-9	5	-0,7	2,2	-2,1
Tipo de silo					
Hermético	6-14	8	1,4	0,7	-3,7
Vertical	7-17	10	1,8	1,7	-4,7
Trinchera	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



**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 (1990).

## Estimación de la calidad de 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. Por ello, una correcta valoración química de la calidad de los forrajes conservados es esencial para elaborar en forma precisa dietas que satisfagan los requerimientos nutricionales de los distintos rodeos de carne y leche. A continuación, se definirán brevemente los parámetros más comúnmente utilizados para evaluar el valor nutritivo del forraje de alfalfa conservado.

### *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 (Ho-

Iland y Kezar, 1990; Juan *et al.*, 2001). 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 (Tabla 1) 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, rastros 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 llenado lento del silo, entrada de aire, humedad insuficiente, tamaño de partícula demasiado grande o 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 solo pueden vivir en presencia de oxígeno, su aparición en el silaje en forma de polvillo blanco u oscuro nos indica un sellado inapropiado del silo 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 a nivel 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 téc-

nicas 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 (Coblentz *et al.*, 2004; Linn y Martin, 1985).

Materia Seca Digestible (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. Puede 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 degradada usando líquido ruminal de un animal donante, a fin de simular la digestión en el rumen; en la segunda, la muestra es degradada 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 (Tilley y Terry, 1963).
- 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.

#### *Método indirecto 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 (Goering y Van Soest, 1970). En este método, la muestra es degradada 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 ahora se compone de celulosa, lignina y sílice– recibe el nombre de fibra detergente ácido (FDA). Considerando que la proporción de FDA de un forraje está negativamente correlacionada con su DMS, esta última puede ser estimada mediante la fórmula:

$$\% \text{ DMS} = 88,9 - (0,7790 \times \% \text{ FDA})$$

Consumo animal voluntario de materia seca (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 (Linn y Martin, 1985):

$$\% \text{ CMS} = \frac{120}{\% \text{ FDN}}$$

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), del total de nutrientes digestibles (TND) y del 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 celu-

losa 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 TND, que es calculado en función de la FDA, es un parámetro indicativo de la suma total de nutrientes aprovechables por el animal y se expresa como valor de porcentaje.

$$\text{TND} = 82,38 - (0,7515 \times \text{FDA})$$

El VNR se calcula relacionando los valores estimados de DMS y de CMS a través de la siguiente fórmula:

$$\text{VNR} = \frac{\% \text{DMS} \times \% \text{CMS}}{1,29}$$

El VNR, que no posee unidades absolutas, es una manera simple de cuantificar el potencial alimenticio de un forraje. El VNR es ampliamente usado en EE. UU. para balancear raciones y para fijar el precio de comercialización del heno. En Argentina se propuso una escala similar (Tabla 3).

**Tabla 3.** Categorización del heno de alfalfa en base a su valor nutritivo relativo propuesta para Argentina por Urrets Zavalía *et al.* (2018a).

CATEGORÍA	FDA (%)	FDN (%)	VNR	TND (%)	PB (%)
Superior	< 27	< 34	> 185	> 62	> 22
Premium	27-29	34-36	170-185	60,5-62	20-22
Primera	29-32	36-40	150-170	58-60	18-20
Segunda	32-35	40-44	130-150	56-58	16-18
Tercera	> 35	> 44	< 130	< 56	< 16

FDA: fibra en detergente ácido, en % base seca; FDN: fibra en detergente neutro, en % base seca. VNR: valor nutritivo relativo del forraje,  $\text{VNR} = [88,9 - (0,779 \times \% \text{FDA})] \times [(120/\% \text{FDN})]/1,29$ ; TND: total de nutrientes digestibles, en % base Seca,  $\text{TND} = 82,38 - (0,7515 \times \% \text{FDA})$ ; PB: proteína bruta, en % base seca.

La clasificación de henos de alfalfa utilizada en España también utiliza una escala de VNR pero define solo tres categorías (Tabla 4), que se corresponden bastante (aunque no totalmente) con las tres categorías inferiores del sistema estadounidense.

■ **Tabla 4.** Categorización de heno de alfalfa utilizada en España.

CATEGORÍA	FDA (%)	FDN (%)	VNR	TND (%)	PB (%)
Extra	29-32	36-40	150-170	58-60	> 18
Primera	32-35	40-44	130-150	56-58	16,5-18
Segunda	> 35	> 44	< 130	< 56	15--16,5

En 2017, el Grupo Alfalfa del INTA Manfredi propuso para la Argentina una escala de tipificación de heno de alfalfa muy similar a la de EE. UU., aunque ajustando la denominación de las categorías de acuerdo a los usos y costumbres del país. El objetivo fue compatibilizar estas categorías con las clasificaciones más difundidas a nivel mundial, a fin de facilitar la exportación de alfalfa y de ordenar simultáneamente el mercado interno. La tipificación propuesta se detalla en el capítulo 16 de este libro.

### *Evaluación mediante análisis instrumental*

Una técnica alternativa para estimar el valor nutritivo de los forrajes es la espectroscopía en infrarrojo cercano, conocida como NIRS por sus siglas en inglés (*Near Infrared Reflectance Spectroscopy*). Este método computarizado permite estimar en forma rápida, económica y no destructiva de la muestra, el contenido de PB, FDN, FDA, DMS, lignina, carbohidratos solubles y otros compuestos 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 es estimado mediante ecuaciones matemáticas de predicción (Marten *et al.*, 1990; Shenk y Westerhaus, 1994).

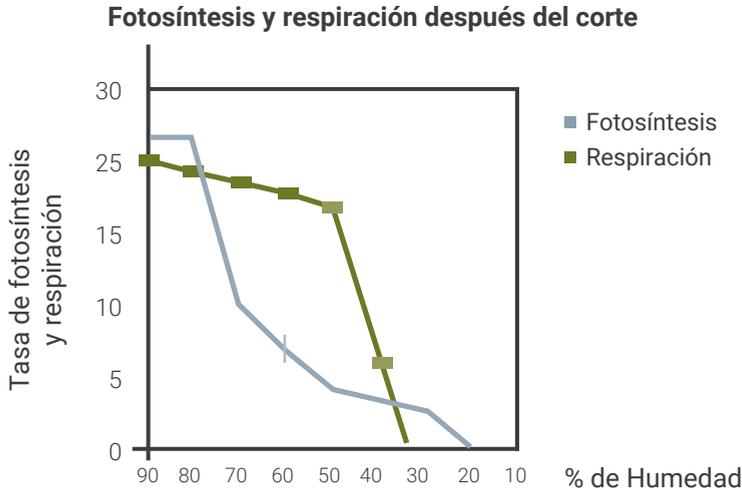
De acuerdo a experiencias realizadas en el Laboratorio de Calidad de Forrajes de INTA Anguil, la granulometría y la manipulación de las muestras son factores que impactan sobre la variabilidad de las lecturas y la repetitividad de los valores. Es por tanto que se sugiere tener estas consideraciones a la hora de calibrar y utilizar equipos NIRS.

## Henificación

La henificación es un método de conservación del forraje basado en el principio físico del secado que inactiva la respiración de los tejidos vegetales y la actividad microbiana. El objetivo es reducir lo más rápidamente posible el contenido de humedad del forraje fresco y cortar así el proceso de respiración celular que continua en los tejidos luego del corte de la pastura; de esta manera, se busca preservar lo más posible la concentración de azúcares solubles y demás nutrientes a fin de que alcancen la boca del animal y se transformen en mayor producción de carne y leche. 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 solo capturar la mayoría de los nutrientes presentes en el forraje, sino también almacenarlos por largos períodos, impidiendo que se produzcan cambios sustanciales en su composición. A partir del corte del forraje, la fotosíntesis y la consiguiente producción de hidratos de carbono se detienen rápidamente (Figura 2), pero el consumo de estos compuestos a través de la respiración de los tejidos continúa hasta que el contenido de humedad cae por debajo del 50 %. Es por todos estos motivos que el secado debe ser lo más veloz posible.

La henificación fue el primer proceso utilizado por el hombre para conservar forraje, lo que permitía aprovechar los excedentes de primavera y verano para utilizarlos luego durante el invierno u otros períodos de escasez. En la actualidad, este método de conservación es utilizado no solo para cubrir baches forrajeros, sino también como componente permanente de raciones totalmente mezcladas (TMR) o bien como com-

plemento aislado en sistemas de producción bovina con distintos grados de intensificación, buscando dar estabilidad a los sistemas y aumentar su productividad a través de aumentos de carga y productividad individual.



■ **Figura 2.** Evolución de la fotosíntesis y la respiración de la alfalfa, una vez que es cortada, en función del contenido de humedad de los tejidos. Fuente: Adaptado de Greenhill por Bragachini *et al.* (1995).

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 producto obtenido. Romero *et al.* (1986) 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 (1992), 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 (1993) 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 solo el 20 % eran adecuados para lograr un consumo de materia seca lo suficientemente alto y compatible con planteos lecheros de alta producción.

Esta baja calidad promedio del heno de alfalfa producido en el país se debe a varios factores concurrentes. Uno de los más importantes es la falta de incentivo por parte del mercado interno, que no solo evalúa la calidad en forma subjetiva a través de únicamente criterios organolépticos (color, olor, presencia de hojas, presencia de malezas, etc.), y no a través de parámetros objetivos y analíticos (PB, FDA, FDN, lignina, DIVMS, VNR, etc.), sino que además los compradores de rollos o megafardos pagan generalmente por peso y no por calidad. Esta situación ha generado que se extienda una serie de prácticas de henificación no recomendables, tales como cortes tardíos (que aumentan al rendimiento de MS ha<sup>-1</sup>, pero que disminuyen notablemente la calidad), deficiente control de malezas, uso de maquinaria de corte inadecuada, rastrillado de excesiva velocidad, manipulación de andanas excesivamente secas (con la consiguiente pérdida de hojas), estiba inadecuada, etc. (Figura 3). El resultado de todo lo anterior se traduce en los valores promedio de calidad obtenidos por los laboratorios de INTA Rafaela e INTA Manfredi, que se ubican en torno a 16 % PB (rango: 13-24 %), 56 % FDN (excesivamente alto) y 58 % DIVMS (muy baja), cifras que están muy lejos de los parámetros de calidad exigidos por el mercado internacional.



■ **Figura 3.** Principales causas de pérdida de calidad del heno de alfalfa en Argentina: 1-momento tardío de corte; 2- cultivos enmalezados; 3-corte con hélice desmalezadora; 4- rastrillado y confección en condiciones excesivamente secas; 5-lluvia sobre andanas; y 6- estiba inapropiada en condiciones de intemperie.

## *Factores que modifican el rendimiento y la calidad del heno*

El proceso de henificación involucra básicamente cuatro etapas: 1- corte; 2- secado; 3- recolección; y 4- almacenaje. A lo largo de todo el proceso es esencial conservar la mayor proporción posible de hojas –en particular cuando nos referimos a heno de alfalfa, ya que en ellas se encuentra entre 65 y 70 % de los nutrientes que ofrece el cultivo–.

### *1- Corte*

#### *Estado de madurez*

El estado de madurez de la planta o estado fenológico es el factor individual más importante para tener en cuenta para determinar el momento del corte a fin de producir forraje conservado de alta calidad, ya que expresa el efecto acumulado que el medio ambiente y el genotipo tienen sobre la planta (Marten *et al.*, 1988). Si bien el desarrollo fenológico de la alfalfa puede caracterizarse de varias formas, en términos generales se habla de cuatro estados básicos: vegetativo, botón floral, floración y semillazón. En este contexto, existen otras clasificaciones que incluyen estados intermedios entre esos cuatro estados. Kalu y Fick (1983) desarrollaron una escala numérica –luego perfeccionada por Fick y Mueller (1989)– que incluye tres estados vegetativos, dos de botón floral, dos de floración y tres de semillazón. Esta escala, que brinda un sistema más preciso y menos subjetivo que otras clasificaciones propuestas, se describe detalladamente en el capítulo 2 de este libro.

Numerosos trabajos han demostrado no solo los cambios que se producen en la composición química de la alfalfa asociados a cambios en el estado de madurez (Barnes y Gordon, 1972; Kalu y Fick, 1983), sino también la alta correlación existente entre la calidad del forraje en pie y la calidad del heno (Collins, 1990). 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 (Tabla 5). Kalu y Fick (1983) estimaron una disminución promedio 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

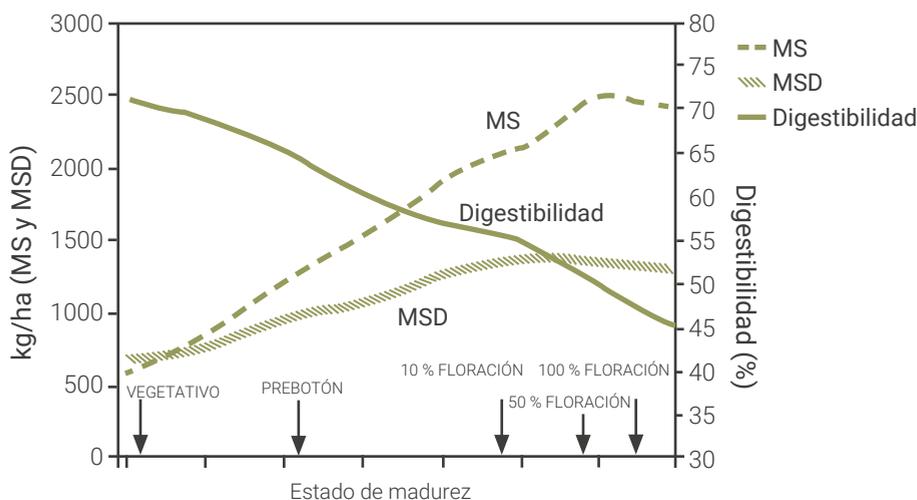
y de 0,2 % en PB durante los crecimientos de primavera. Por su parte, Berger *et al.* (1986; 1985) calcularon que por cada día de desarrollo del cultivo, la DMS y la PB disminuían 0,6 % y 0,5 %, respectivamente. La disminución de calidad es generalmente más rápida en el verano que en la primavera, debido a la aceleración del desarrollo fenológico y a las mayores pérdidas de carbohidratos no estructurales por respiración que se producen durante el período estival.

La relación que existe entre madurez, valor nutritivo y rendimiento de materia seca de la alfalfa se representa en la Figura 4. A medida que se posterga el corte y la alfalfa avanza hacia el estado de floración, por un lado, 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 (Sheaffer *et al.*, 1988). 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 (Buxton *et al.*, 1985). 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.

■ **Tabla 5.** 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 *et al.* (1991) y de Holland y Kezar (1990).

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; PV: peso vivo.

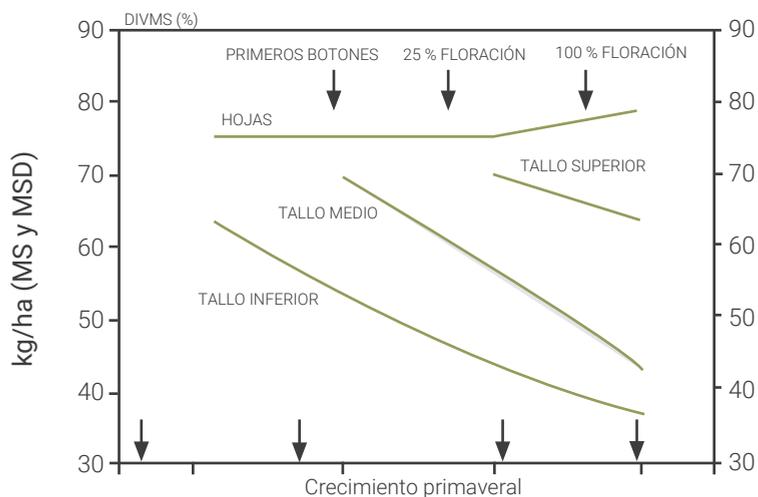


**Figura 4.** Variación de la producción de materia seca (MS), del rendimiento de materia seca digestible (MSD) y del porcentaje de digestibilidad total (digestibilidad) de la alfalfa en función de los estados de madurez a lo largo de un ciclo de crecimiento primaveral. Adaptado de Wilken *et al.* (1978).

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 estados inmaduros) y su calidad se deteriora mucho más lentamente con la madurez que la de los tallos (Buckmaster *et al.*, 1990) (Figura 5).

No existe un estado de madurez óptimo para cortar alfalfa, dado que este dependerá del objetivo de producción al que se destina el forraje conservado y de los requerimientos de los animales (Juan, 1996; Juan *et al.*, 2001; Juan *et al.*, 2001). 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  $\text{ha}^{-1}$  del cultivo de alfalfa se ubica entre botón floral y principios 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, variedades susceptibles a enfermeda-

des foliares, o ambas) es necesario hacer cortes más tempranos que bajo condiciones que favorezcan la retención de hojas (regiones más secas o alfalfas resistentes).



■ **Figura 5.** 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 *et al.* (1985).

### Maquinaria de corte e hilerado

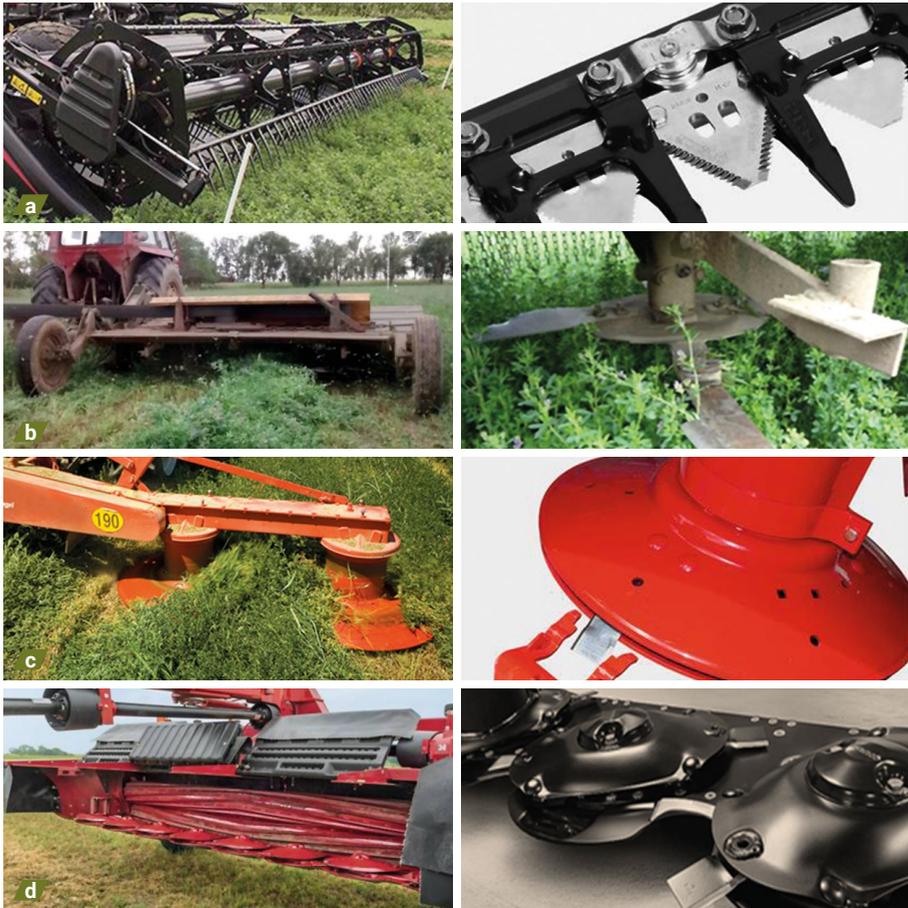
La maquinaria más conveniente es aquella que realiza un corte de alta calidad y que combina alta capacidad de trabajo y adaptación a distintas situaciones del cultivo (diferencias en rendimiento de forraje, presencia de malezas, etc.). Por corte de alta calidad se entiende que la máquina realice un corte neto y sin deshilar, evitando al máximo el efecto de repicado, que es el recorte del material en trozos menores a 7 cm y la generación de un vuelo de hojas que no podrán ser recolectados por la maquinaria de recolección (megaenfardadora, rotoenfardadora o enfardadora) al momento de la confección. A su vez debe facilitar un rápido secado mediante el acondicionado o quebrado de tallos, dejando una andana esponjosa, aireada y uniforme en ancho y densidad. Existen distintos sistemas y máquinas de corte (Bragachini, 1995; Bragachini *et al.*, 1995), que pueden agruparse en dos tipos generales:

a- Segadoras de movimiento alternativo: cortan con secciones de cuchillas triangulares montadas sobre una barra que se desplaza al-

ternativamente (Figura 6a). Cuando las secciones y las contracuchillas están correctamente afiladas realizan un corte muy neto y sin repicado, lo que prácticamente no supone pérdidas de material vegetal. Como desventajas se mencionan su baja velocidad de avance, sus frecuentes atascamientos en cultivos densos o enmalezados, su poca adaptación a terrenos desparejos y sus altos costos de mantenimiento.

b- 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° (Figura 6b). Tienen bajos requerimientos de mantenimiento y gran capacidad de trabajo, aun en cultivos densos, volcados o enmalezados, pero pueden producir un corte deshilachado, ya que pierden fácilmente su filo, así como también producen un excesivo efecto de repicado, con pérdidas 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 6c). Si bien 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, es un sistema que actualmente está muy poco difundido; y iii) de discos: poseen pequeñas cuchillas montadas sobre varios discos que giran a alta velocidad (Figura 6d); producen un corte neto, con muy bajo efecto de repicado y con escaso desprendimiento de hojas, ofreciendo una alta velocidad de trabajo y un buen copiado del terreno. Estos equipos entregan un flujo de material cortado que se complementa muy bien con los sistemas acondicionadores, que quiebran los tallos y aceleran así el secado de la fibra. El sistema de discos es el de mayor uso en Europa y EE. UU. En Argentina fueron introducidas a mediados de la década de 1990, pero aún no han logrado una difusión masiva.

Pese a todo lo mencionado anteriormente, se estima que aun más del 60 % de la superficie de alfalfa del país continúa cortándose con hélices, a pesar de las grandes desventajas que estas presentan frente a las segadoras acondicionadoras.



■ **Figura 6.** Distintos sistemas de corte de forraje: a- barra alternativa con cuchillas triangulares (fotos gentileza McDon); b- movimiento rotativo de hélice; c- movimiento rotativo de tambor (fotos gentileza Minos Agri); y d- movimiento rotativo de discos. Fotos: gentileza Case IH y Claas.

De acuerdo a ensayos realizados por el Grupo de Maquinaria Agrícola de INTA Manfredi (Sánchez *et al.*, 2016), el reemplazo del sistema de corte de hélice por el de la segadora de discos con acondicionadores permite obtener los siguientes beneficios esenciales (Figura 7):

- Efecto sobre el rebrote del cultivo: la segadora acondicionadora, al realizar un corte prolijo, con un mínimo deshilachado de los tallos, favorece la recuperación de las plantas, acelerando el rebrote posterior y, por acumulación de efecto positivo, incrementó en aproximadamente 8 % la producción de forraje a lo largo del

año. En la zona central de Córdoba, esto último se traduce en unos 900 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> más de forraje de alfalfa.

- Efecto sobre el repicado: el corte con segadora de discos y acondicionador genera mínimas pérdidas por repicado, disminuyendo hasta 62 % la cantidad de hojas y de trozos de tallos menores a 7 cm que quedan tirados en el lote, material que no será tomado por el recolector de la rotoenfardadora o megaenfardadora. En el ensayo que se comenta, el corte con hélice dejó tirado en el campo –a lo largo de los 5 cortes evaluados– un total de 1.487 kg MS ha<sup>-1</sup>, mientras que la segadora sólo dejó 568 kg MS ha<sup>-1</sup>.
- Efecto del acondicionador: mediante el quebrado y aplastado de los tallos, los acondicionadores generan vías de escape al agua contenida en ellos, logrando así disminuir el lapso de tiempo que transcurre desde el corte hasta que la humedad llegue al 50 %, momento en que se detiene la respiración de los tejidos. De esta forma, como ya se explicara anteriormente, el forraje es capaz de conservar mayor proporción de calidad nutritiva. Los datos de INTA Manfredi indican que, al momento de la recolección, el forraje cortado con segadora y acondicionador poseía 23,5 %PB y 2,6 Mcal kg MS<sup>-1</sup>, mientras que la franja cortada con una segura sin acondicionador alcanzó 21,9 % PB y 2,5 Mcal kg MS<sup>-1</sup>.

En resumen, el beneficio acumulado de cortar la pastura de alfalfa con segadora y acondicionador respecto de hacerlo con hélice, para las condiciones de Manfredi, fue una disponibilidad “adicional” por hectárea de aproximadamente 1.800 Kg MS, 557 Kg PB y 5.263 Mcal EM en una campaña de trabajo. Este mayor aprovechamiento de la pastura equivale a una producción extra de aproximadamente 123 kg carne ha<sup>-1</sup>. A estos beneficios económicos, debe sumarse que las segadoras posibilitan una mayor eficiencia de copiado de terreno, lo que brinda uniformidad en la altura de corte, evitando dañar los meristemas de rebrote; también permiten conformar andanas más uniformes y menos densas, derivado de la facilidad para regular los faldones traseros, lo que mejora el secado (Sánchez *et al.*, 2016).

### *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 car-

bohidratos 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 (Bruno *et al.*, 1993) (Tabla 6). Según Buxton *et al.* (1985), 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 8).



**Figura 7.** Beneficios esenciales del corte rotativo de segadora a discos con acondicionadores, respecto al corte con sistema tipo hélice. Tomado de Sánchez *et al.* (2016).

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.

■ **Tabla 6.** Calidad del forraje del alfalfa según época del año y mitad (superior o inferior) de la planta. Adaptado de Bruno *et al.* (1993).

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.

### 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 “quinoa” (*Chenopodium album* L.) y la “ambrosia” (*Ambrosia artemisiifolia* L.) (Marten y Andersen, 1975).

Los efectos indeseables indirectos, comunes en el caso de malezas suculentas y 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 por factores climáticos adversos. Las malezas también pueden afectar la calidad del heno si son no palatables, presentan espinas que ocasionan el rechazo de los animales, o contienen compuestos tóxicos para el ganado; además, el forraje conservado se convierte en una fuente de diseminación de semillas de especies indeseables (Rainero *et al.*, 1995). Por ello, independientemente del valor nutritivo que puedan tener las malezas, su presencia en alfalfares destinados a la producción de re-

servas de calidad debe ser evitada. Se espera que la aparición en el mercado legal de variedades tolerantes al herbicida glifosato ("alfalfas RR") contribuya a lograr este objetivo (Orloff *et al.*, 2003).

### *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 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 cubran del 25 al 50 % de la superficie foliar, presentan no solo un contenido de PB considerablemente menor que el de 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) produce, 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] (Hijano, 1993). Una más completa descripción de estas y otras enfermedades se ofrece en el capítulo 9 de este libro.

Existe abundante evidencia de que ataques severos de pulgones, una de las principales plagas del cultivo en la Argentina (Aragón y Imwinkelried, 1995), 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 (Villata, 1993).

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) (Loper, 1968) y de enfermedades foliares de origen fúngico o viral 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.

### *Variedades*

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 (Basigalup, 2007). El objetivo principal es la obtención de cultivares que no solo 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. No obstante, la selección por mayor calidad resulta frecuentemente en una disminución del rendimiento de materia seca (Hill *et al.*, 1988). Durante la década de 1990 se lanzaron, primero en los EE. UU. y más tarde en Argentina, las alfalfas de alta calidad o “HQ” (por su denominación inglesa *High Quality*), seleccionadas por mayor VNR (Huset *et al.*, 1991). También data de la misma época la introducción en el mercado de variedades de alfalfa multifoliolada (hojas con más de tres folíolos) que apuntan a ofrecer un mayor valor nutritivo (Juan *et al.*, 1993; Juan *et al.*, 1990; Volenec y Cherney, 1990). Por un lado, más recientemente, el INTA inscribió en 2019 la variedad Amaya PV INTA, que es extremadamente sin reposo invernal (GRI 10) y posee una alta expresión multifoliolada (78 % de las plantas presentan una alta proporción de hojas con 5-6 folíolos), lo que le otorga un mayor ( $p < 0,05$ ) contenido de PB y una mayor ( $p < 0,05$ ) hoja:tallo (62). En marzo de 2019, una empresa multinacional lanzó al mercado argentino la tecnología conocida como “HarvXtra”<sup>®</sup>, que provee –a través de un proceso de silenciamiento génico– un menor contenido de lignina, lo que permite retrasar cortar la alfalfa en estados avanzados de floración sin sacrificar digestibilidad. Por otro lado, hay otras empresas que buscan desde hace tiempo mejorar la calidad de la alfalfa por medio

de la selección 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 (Johnson *et al.*, 2002).

No obstante, fuera de los avances puntuales en mejoramiento genético señalados en el párrafo anterior, la calidad del forraje conservado de alfalfa sigue actualmente dependiendo en mayor medida de las técnicas de confección y manejo que de las características de la enorme mayoría de las variedades presentes en el mercado.

### *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 (Mayland *et al.*, 1998). 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. Mayland *et al.* (1998) demostraron que los rumiantes son capaces de detectar esas variaciones y de preferir henos de alfalfa con mayores niveles de CHNE, lo que puede aumentar su consumo hasta en 10 %.

Cualquiera sea la hora elegida, la superficie para 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 (Oddino, 1993; Whitney *et al.*, 1969).

## *Volumen de forraje*

Por un lado, la disponibilidad de forraje al 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 en 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.

## *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, debe eliminar alrededor de 7.500 kg de agua para transformar dicho forraje en heno. Como ya fuera mencionado, 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 condiciones climáticas– este período puede extenderse desde 1 hasta más de 15 días. 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 (MacDonald y Clark, 1987).

### *Fases en el secado a campo de alfalfa cortada*

De acuerdo con Boden (1965) y Macdonald y Clark (1987) se pueden distinguir las siguientes fases de secado a campo:

i) Desde el corte a 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, como el rastrillado o el aireado, que aceleran el secado sin que se produzcan pérdidas importantes de hojas, siempre que se realicen en condiciones adecuadas.

ii) Desde 60 % hasta 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 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 estén cerca del 20 %, lo que las hace quebradizas y susceptibles a pérdidas si se aplicaran tratamientos mecánicos para favorecer el secado.

iii) Desde 30 % hasta 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: como fuera comentado anteriormente, 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  $\leq 50$  %. A partir de allí, la respiración cae abruptamente hasta hacerse insignificante cuando la humedad baja a 25-30 %. El proceso de respiración implica oxidación completa de hidratos de carbono solubles (principalmente glucosa y fructosa), con eliminación de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  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 3 % bajo buenas condiciones atmosféricas y 20 % bajo condiciones de alta humedad o lluvias, que alargan la etapa de se-

cado. 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 (Rotz *et al.*, 1987; Whitney *et al.*, 1969).

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 mayoritariamente carbohidratos no estructurales (60 %) y proteínas solubles (30 %), todos ellos de alta digestibilidad (Collins, 1990; Fannesbeck *et al.*, 1986). El forraje en estados avanzados de desecación absorbe mayor cantidad de agua que el forraje recién cortado, pero también pierde esa humedad absorbida con mayor facilidad que este; por ello, las pérdidas por lixiviación de nutrientes son mayores cuando llueve sobre una andana casi seca que sobre una andana fresca (Rotz y Muck, 1994; Rotz *et al.*, 1991).

Pérdidas mecánicas: están ligadas principalmente a la caída de hojas como consecuencia de la acción de vientos o lluvias fuertes y de la acción de la maquinaria utilizada para uniformar y acelerar el secado, juntar las andanas y otras labores similares.

### *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 (Figura 8). La fricción reduce, por abrasión, la cutícula serosa que dificulta la difusión de agua, especialmente desde los tallos. Los rodillos pueden ser de superficie lisa, estriada, acanalada o romboidal y pueden estar hechos de caucho, metal o plástico. La separación entre ellos y la velocidad de rotación puede ser ajustable. En la actualidad, la mayoría de los acondicionadores mecánicos van incorporados a la máquina de corte, ya sea esta de movimiento alternativo o rotativo. Numerosos trabajos han demostrado la posibilidad de reducir entre 30 y 50 % el tiempo de se-

cado de la alfalfa utilizando acondicionadores mecánicos; no obstante, debe considerarse que su uso, aun en las mejores condiciones, provoca pérdidas de MS del 1 al 5 % (Savoie *et al.*, 1982; Shinnars *et al.*, 1991). 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 la mayor debilidad con que las hojas se unen al tallo en estados de madurez avanzados (Shinnars *et al.*, 1991).

Uso de rastrillos: estos implementos pueden ser de tipo estelar, de cabezales rectos u oblicuos, de peines giratorios (rastrillos giroscópicos) o invertidores de andana, que cuentan con un recolector de dientes y una lona tipo draper que desplaza el material hacia un costado o el centro. Los rastrillos tienen dos objetivos fundamentales: 1) juntar hileras para ganar capacidad de trabajo y reducir pérdidas durante la confección de rollos y megafardos cuando las andanas son de bajo volumen; y 2) acelerar el proceso de secado, facilitando la pérdida de los últimos puntos de humedad a partir de la exposición al sol y mayor aireado de las fracciones de fibra que se encuentran en el inferior de la hilera.

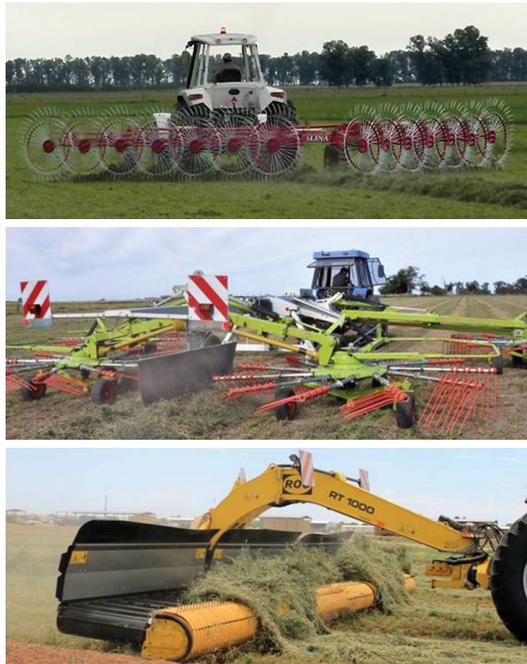


■ **Figura 8.** Rodillos acondicionadores (arriba) que quiebran los tallos generando nuevos puntos de escape del agua (abajo, izquierda y derecha), acelerando el secado y permitiendo conservar mejor la calidad de la fibra para enrollar o enfardar.

Los aspectos críticos para considerar durante la operación de rastrillado son: i) humedad de trabajo, que no debe ser inferior a 30 %, con una ventana óptima de trabajo entre 30 y 40 %. Cuando la operación se realiza en condiciones de menor humedad, se incrementan considerablemente las pérdidas, principalmente de hojas, que es donde se encuentra el 70 % de los nutrientes que pretendemos alcancen la boca del animal; ii) velocidad de avance, que no debe superar los 7 km h<sup>-1</sup>. Según un estudio de la Universidad de Michigan (MSU), EE. UU., por cada km de incremento por encima de la velocidad óptima indicada se incrementan 5 % las pérdidas de forraje (hojas); y iii) altura del rastrillo, que debe encontrarse el equilibrio entre la máxima recolección de material y el cuidado de no generar contacto con el suelo para evitar lo más posible la incorporación de tierra y el arrancado de plantas, que puede ocasionar disminuciones de la población (*stand*) de plantas del cultivo.

En cuanto al horario de trabajo, es conveniente realizar el rastrillado por la tarde, con los primeros puntos de humedad de rocío, o bien durante la mañana antes que se levante el rocío. De este modo, la humedad medida corresponderá a humedad de rocío, rápidamente evaporable, y no a la humedad interna de los tejidos. Es muy importante evitar el rastrillado cuando las hojas se encuentren muy secas, aun cuando la humedad promedio de la andana se encuentre dentro del rango óptimo.

Para el trabajo de hilerado, los rastrillos giroscópicos ofrecen grandes ventajas frente a los rastrillos estelares de tiro lateral o en "V". En primer lugar, logran un copiado de terreno muy superior ya que cuentan con un gran número de ruedas pequeñas próximas a los dientes de recolección, evitando así el contacto con el suelo y la incorporación de tierra a la hilera. En segundo lugar, tienen un tratamiento del material notablemente más suave, en el que el forraje es recogido en el punto de contacto y soltado justo en la línea de hilera conformada, sin recibir sucesivos golpes como en el caso de los rastrillos estelares. El cuidado que debe tenerse con estos equipos giroscópicos es la regulación de la toma de potencia, de forma tal que en vez de entregar las usuales 540 rpm entregue solo entre 350 a 400, de acuerdo a la cantidad y estado del material, garantizando de este modo un trato suave de la fibra. Una tercera alternativa a los dos tipos mencionados, si bien de alto costo pero de alta calidad de trabajo, la constituyen los rastrillos recolectores hileradores de cinta. Los tres tipos se ilustran en la Figura 9.



■ **Figura 9.** Rastrillo estelar en "V" (arriba), rastrillo giroscópico (centro) y recolector hilador de cinta (abajo); herramientas que permiten acelerar el deshidratado del material y juntar andanas. Fotos: gentileza de Baime, Claas y Roc.

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 (Manitoba Agriculture, 2005). La efectividad de esta técnica depende en gran medida de que la humedad relativa del ambiente sea lo suficientemente baja como para permitir la rápida evaporación del agua de los tejidos tratados (Iwan *et al.*, 1993). 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. Sin embargo, en Argentina –al menos por el momento– es prácticamente nulo el uso de acondicionadores químicos o desecantes.

### 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 al momento de la confección de rollos, fardos o megafardos es de vital importancia ya que tiene efectos sobre las pérdidas ocurridas durante esta operación, tanto como aquellas ocurridas durante el almacenamiento. De acuerdo a ensayos realizados por INTA Manfredi (Bragachini *et al.*, 2018), la confección debe realizarse con estos rangos de humedad: 13-17 % para megafardos, 14%-20 % para rollos y 13-22 % para fardos. Por encima de dichos valores ocurren problemas de aceleración de la respiración celular y actividad microbiana, calentamiento y pérdida de calidad del material. Por debajo de dichos valores, es decir, cuando el procesamiento se realiza en condiciones excesivamente secas, se incrementan notablemente las pérdidas de material –fundamentalmente hojas– tanto durante la recolección como en la cámara de compactación.

En las distintas pruebas a campo realizadas por INTA en confección de rollos y megafardos, se debe destacar que la fracción vegetal recogida como pérdidas durante esta etapa del proceso de henificación estaba constituida básicamente por brotes y hojas de alto valor nutritivo, con una calidad media en torno a 25 % de proteína bruta (Figura 10).

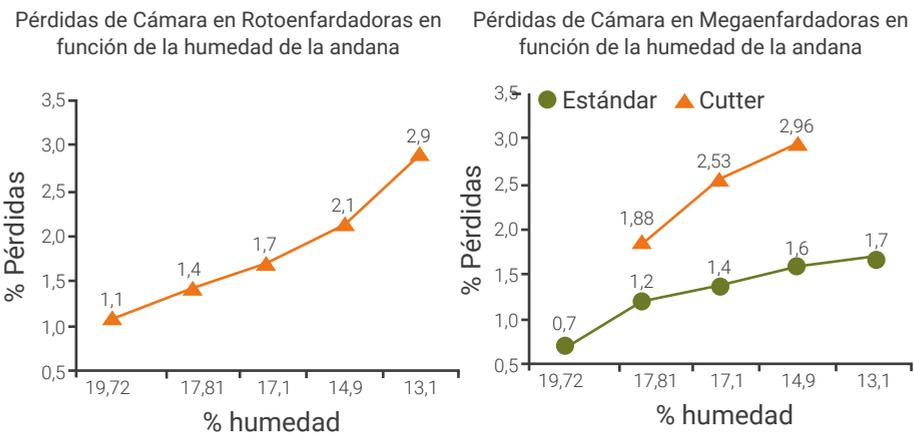
Por un lado, cuando se confeccionen rollos, si la humedad de la andana es inferior al 13 %, debe detenerse la tarea de enrollado, ya que de lo contrario las pérdidas de hojas superarán el límite de tolerancia de 3 % del material empaquetado aconsejado por INTA para obtener rollos de alfalfa de calidad (Bragachini *et al.*, 2018). De continuarse con la operación, se obtendrá un forraje con bajo contenido de proteína y altos valores de fibra (Figura 11, izquierda).

De acuerdo con evaluaciones realizadas por Bragachini *et al.* (2018), las megaenfundadoras ofrecen niveles inferiores de pérdidas de hoja en cámara de compactación en comparación a las enrolladoras, pudiéndose trabajar hasta niveles de humedad de andana en torno al 12 %. Esto se

debe fundamentalmente a la mayor hermeticidad de sus cámaras de compactación. Como contrapartida, debido a la alta densidad de compactación que producen en el heno estos equipos, no es recomendable confeccionar los megafardos cuando la humedad de la andana está por encima del 18 %. De esta forma, la ventana óptima de henificación de megafardos queda comprendida entre 17 % y 12 % de humedad.



■ **Figura 10.** Pérdidas de forraje recolectadas durante la confección de rollos y megafardos en ensayos realizados por el Grupo de Mecanización de INTA Manfredi.



■ **Figura 11.** Incremento de las pérdidas en % de materia seca ocurridas en cámara de compactación de enrolladoras (izquierda) y megaenfardadoras (derecha), a medida que se va reduciendo la humedad de la andana durante la confección.

Otro factor importante para tener en cuenta es si las megaenfardadoras utilizan el sistema procesador de fibra, dado que en este caso las pérdidas por cámara se incrementaron notablemente a medida que disminuye la humedad del forraje henificado. Estimaciones hechas por el INTA Manfredi indican que cuando se trabajó con 13 % de humedad, las pérdidas llegaron a 3 %, que –como ya fuera señalado– es el límite máximo de tolerancia establecido como razonable (Bragachini *et al.*, 2018). La agresividad mecánica a la que es sometido el forraje por acción del procesador la fibra genera un incremento notable de pérdidas de hoja y proteína cuando se trabaja con valores de humedad < 13 % (Figura 11, derecha).

En general, se recomienda enfardar o arrollar durante la noche, con los primeros puntos de humedad de rocío, o bien durante la mañana, después que el rocío se haya disipado en gran medida. En ambos casos, el forraje presenta condiciones de humedad muy cercanas al óptimo. Se desaconseja enfáticamente efectuar la operación durante las horas del mediodía ni de las primeras horas de la tarde, cuando el ambiente está caluroso y seco. Para definir si se debe iniciar, continuar o interrumpir la confección, se sugiere medir en forma continua la humedad de la andana o de las unidades de heno que se van confeccionando, y contrastar los valores obtenidos con los umbrales críticos definidos anteriormente.

- Valoración objetiva del contenido de humedad

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 manajo este se corta fácilmente, pero sin deshojarse; o cuando ya no es posible pelar la cutícula de los tallos con la uña. No obstante, estos métodos son poco confiables ya que carecen de precisión. En consecuencia, es recomendable acudir a otros métodos más confiables, como la utilización de humidímetros que trabajan por conductividad eléctrica (Figura 12). También se pueden incorporar humidímetros en megaenfardadoras o rotoenfardadoras, a fin de censar automáticamente el contenido de humedad del material (Figura 13).

Los medidores de uso manual permiten medir la humedad directamente sobre una muestra tomada de la andana y comprimida dentro de un recipiente, o bien del interior de un rollo o megafardo confeccionado para prueba (Bragachini, 1995).

Si el forraje no fue secado adecuadamente y es recolectado con un contenido de humedad superior al nivel crítico de 18-20 %, se producirá un deterioro en la calidad del heno (Rogers, 2005). Según Macdonald y Clark (1987), en 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 (1982) estimaron las pérdidas de MS en 1 % por cada punto porcentual de humedad en el heno por encima de un umbral crítico de 18 %.



■ **Figura 12.** Distintos modelos de humidímetros manuales, que estiman el porcentaje de humedad de la fibra a partir de los valores de conductividad eléctrica que miden. En general, trabajan con precisión adecuada dentro de un rango de contenido de materia seca y compactación de la fibra.



■ **Figura 13.** Sensor de humedad incorporado en la garganta de ingreso de material en una megaenfadadora.

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 ter-

moflicos (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 llegar hasta la combustión espontánea del fardo o rollo (Rogers, 2003).

- Tecnologías que permiten trabajar con un rango de humedad más amplio

Existen nuevas tecnologías que permiten operar con un mayor rango de humedad de trabajo permitiendo confeccionar rollos, fardos o megafardos durante más cantidad de horas al día y sin pérdidas significativas de forraje. Algunas de ellas se basan en la aplicación de vapor, posibilitando así la operación en condiciones de andanas más secas, mientras que otras se basan en la aplicación de conservantes con propiedades antimicrobianas y antifúngicas, lo que permite la confección bajo condiciones de humedad mayores a las comúnmente recomendadas.

- Aplicación de vapor en condiciones de excesiva deshidratación de la fibra

Esta tecnología, aún poco difundida a nivel mundial, consiste en la aplicación de vapor sobre la andana en el mismo momento de la recolección del forraje, justo por encima y por debajo del recolector de la megaenfardadora. El equipo vaporizador, denominado DewPoint®, fue desarrollado en Estados Unidos por la firma Staheli West y permite confeccionar megafardos o rollos en condiciones de andana muy seca ( $\leq 12\%$ ), manteniendo niveles mínimos de pérdida de material (Figura 14).

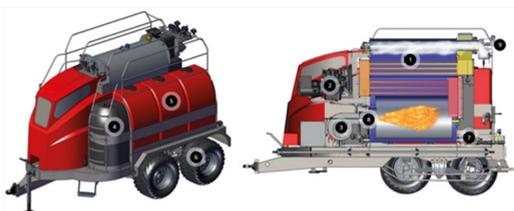
El implemento se ubica, conformando un tren, por detrás del tractor y por delante de la megaenfardadora. No demanda transmisión mecánica ni hidráulica de parte del tractor, sino que opera en forma autónoma, requiriendo solamente ser trasladado. Debido a que se ubica entre tractor y megaenfardadora, la vaporizadora tiene previsto un túnel por donde

pasa la transmisión desde el tractor (mecánica/cardánica e hidráulica/mangueras) a la megaenfardadora. Posee un motor Isuzu de 21 HP, que está alimentado a gasoil y que acciona una caldera que vaporiza el agua contenida en los depósitos. El vapor es conducido a presión, mediante mangueras, hacia el recolector de la megaenfardadora. La aplicación de vapor a presión directamente a la andana permite incrementar entre 1 y 6 % la humedad del material, permitiendo trabajar aun en condiciones de andanas muy secas, sin que se generen mayores pérdidas de hoja.

El equipo (Figura 15) cuenta con seis depósitos de agua, que producen una capacidad total de 3.000 l y un tanque de gasoil de 1.200 l. El peso de la máquina cargada, esto es con la capacidad completa tanto de combustible como de agua, supera los 13.000 kg.



■ **Figura 14.** Vaporizadora DewPoint®, de la firma Staheli West (EE. UU.), en plena operación de megaenfardado de andanas excesivamente secas. Foto: gentileza AGCO Argentina.



■ **Figura 15.** Esquema con detalles de la máquina vaporizadora DewPoint® de la firma Staheli West. Imagen: gentileza Staheli West.

La vaporizadora DewPoint® tiene una autonomía de trabajo de 5 a 6 h. Cuenta con cuatro toberas ubicadas próximas al recolector de la megaenfardadora: dos de ellas entre los dientes recolectores, que hidratan el material desde la parte inferior de la andana, y dos a la parte superior, que lo hidratan desde arriba. La configuración de las toberas permite variar la dosis y zonas-objetivo de humedecimiento. La dosificación se

maneja desde una pantalla táctil, ubicada en la cabina del tractor. Un sensor de humedad, ubicado en la cámara de compactación, indica al operario el nivel de humedad logrado; de esta forma, se pueden realizar los ajustes necesarios según sea el objetivo de humedad que se haya fijado. La caldera tiene un consumo promedio de 2 l gasoil t MS<sup>-1</sup> henificada. La demanda extra de potencia de tractor es de 20 a 40 HP, según las condiciones de relieve del suelo (pendientes) (Bragachini *et al.*, 2018).

Hasta el momento, el mayor impedimento para la difusión de esta tecnología es su elevado costo. Sin embargo, la empresa proveedora está trabajando en el desarrollo de equipos que, basados en el mismo principio, tengan un costo menor. También está diseñando equipos de este tipo para trabajar con rotoenfardadoras.

- 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 y evitar el efecto negativo de las lluvias, sin sufrir las consecuencias indeseables propias de henos húmedos. 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 (Holland y Kezar, 1990; Manitoba Agriculture, 2005). Su uso no se ha difundido aún en Argentina, principalmente por su alto costo y por su doble efecto de corrosión sobre la maquinaria y toxicidad para las personas (al menos en algunos casos). Actualmente se ofrecen en el mercado productos menos corrosivos e irritantes, así como los accesorios necesarios para equipar a las megaenfardadoras con esta tecnología. 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 basados en bacterias anaeróbicas productoras de ácido láctico y ácido propiónico (Holland y Kezar, 1990).

Desde el año 2010, las empresas New Holland y AGCO ofrecen en EE. UU. y Europa (Figura 16) un mecanismo que actúa en función de las lecturas que realiza el sensor de humedad y que permite ir aplicando un

aditivo denominado “Crop Saver Buffered Acid ®”, que tiene pH 6 y que está elaborado a partir de ácido propiónico (64,5 %) y ácido cítrico (5 %). Esta aplicación no elimina el agua, sino que la neutraliza a través de una reacción de hidrólisis, lo que inhibe el desarrollo de hongos. Esta tecnología está disponible en todos los equipos de henificación de estas dos empresas. Desde el año 2017, ambas marcas ofrecen estos equipos en Argentina y se pueden utilizar aplicando ácido orgánico Lupro Grain®, que comercializa la empresa Basf, el cual es un ácido orgánico, compuesto por 90 % ácido propiónico, 4 % propilenglicol, 4 % amonio y 2 % de agua. El ácido propiónico es ampliamente conocido por sus propiedades antifúngicas (hongos y levaduras) y bacterias (Bragachini *et al.*, 2018).



■ **Figura 16.** Equipo aplicador de conservantes colocado en megaenfardadoras New Holland y AGCO, capaz de realizar la pulverización de los productos directamente sobre el heno al momento de su recolección. Fotos: Farm Progress Show 2017.

### *Volumen de andana, tecnología operativa y densidad del producto*

Otros puntos críticos para considerar durante la etapa de recolección y empaquetado (enrollado o enfardado), además de la humedad de la andana, son el volumen o rendimiento de la andana (expresado en kg MS por metro lineal), la tecnología utilizada y la densidad del heno logrado.

Contar con un buen volumen de andana, de entre 3 o 4 kg MS m<sup>-1</sup> lineal de avance, es fundamental para reducir las pérdidas, ya que cuando las andanas son poco densas se produce un efecto de pérdida de hojas (deshoje o desflecado) que disminuye la calidad y la cantidad del producto obtenido.

El tipo de maquinaria empleada también influye directamente en la calidad del heno obtenido. Si el recolector de la roto- o megaenfardadora

es más ancho que la cámara de compactación, permite la confección de unidades de heno bien formadas, dándole la estructura necesaria para tenga una mejor conservación cuando se vea posteriormente expuesto a las condiciones ambientales. Esto cobra mayor importancia cuando se trata de rollos, dado que evita que queden “aplastados contra el suelo”. A su vez, mientras más herméticas sean las cámaras de compactación, se reducirán en mayor medida las pérdidas por cámara. Este el motivo por el que las megaenfardadoras generan menores pérdidas durante la confección. Entre las rotoenfardadoras, aquellas que cuentan con menor número de cintas compactadoras son las que logran mayor hermeticidad, consiguiendo así reducir las pérdidas.

Los sistemas procesadores de fibra (cutter), que permiten obtener henos “instantáneos” con fibra ya cortada a 8 o 4,5 cm, son un factor que puede incrementar las pérdidas, especialmente cuando el forraje se encuentra excesivamente seco. No obstante, en la mayoría de los casos, estas mayores pérdidas no se manifiestan debido al sistema de atado que exigen los rollos de fibra procesada, que es el atado mediante red. Sin embargo, este sistema de atado también puede ser un factor que incremente las pérdidas cuando la andana está muy seca (<14 % de humedad). Respecto del atado con hilo, el atado con red reduce las fricciones sufridas por la superficie del rollo durante el atado, debido a que el atado con red demanda solo de 2,5 a 3 vueltas para completarse, mientras que el atado con hilo demanda 32 vueltas, o bien 16 vueltas si se realiza con el sistema de doble aguja, como ocurre en la mayoría de los casos actualmente. El atado con red también otorga mayor hermeticidad, lo que favorece no solo la operación de atado, sino también las condiciones de almacenaje.

Respecto al grado de compactación logrado, no tiene un efecto inmediato sobre la calidad del fardo o rollo, pero influye sobre su hermeticidad a las lluvias durante la etapa de almacenamiento. Experiencias realizadas por Kjelgaard (1979) demostraron que las pérdidas de materia seca durante el arrollado de alfalfa ascendían en promedio al 10 %, mientras que Whitney *et al.* (1969) estimaron las pérdidas por recolección con máquina de fardos prismáticos en 3,8 %. Otros estudios (Koegel *et al.*, 1985) indican que las pérdidas de hoja en la cámara de compactación son 40 % mayores en arrolladoras que en enfardadoras tradicionales.

### Máquinas recolectoras-compactadoras

Hasta mediados de la década de 1980, 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, con un peso de 25 a 30 kg por unidad y atados con alambre o hilo plástico (Bragachini, 1995; Bragachini *et al.*, 1995). La mayor desventaja de este sistema es la alta demanda de mano de obra requerida para juntar y almacenar los fardos en forma manual. No obstante, este formato de henificación tiene todavía su mercado específico, particularmente para equinos de alto valor.

Desde la segunda mitad de la década de 1980, la adopción de rotoenfardadoras experimentó un crecimiento sostenido, debido fundamentalmente a su mayor capacidad de trabajo y al alto grado de mecanización que otorgan al proceso de henificación, con la consiguiente baja demanda de mano de obra (Figura 17). Según los modelos, las rotoenfardadoras 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.



■ **Figura 17.** Rotoenfardadora (mitad superior) y megaenfardadora (mitad inferior) de la firma AGCO utilizadas en distintos ensayos realizados en conjunto con el INTA Manfredi.

A partir del año 2008, con la instalación de empresas exportadoras de heno de alta calidad, comienzan a difundirse las megaenfardadoras. 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 para el transporte y almacenamiento, y la posibilidad de dividirlo en ‘panes’ para su suministro. En los últimos años se han difundido en el país algunas megaenfardadoras de alta compactación, que tienen la capacidad de confeccionar megafardos de aproximadamente 700 kg y con densidades cercanas a los 300 kg m<sup>-3</sup>.

Basados en la evolución de las técnicas de henificación en el país, puede decirse que en la actualidad la adopción de tecnología se orienta hacia lo siguiente:

- Predominancia de rotoenfardadoras de cámara de 1,2 m de ancho, con beneficios para el transporte en camión dado que permite la colocación de dos rollos en paralelo de forma de respetar los 2,4 m de ancho de transporte permitidos por ley. A su vez, la masiva adopción de carros mezcladores (mixers) para la conformación de raciones hizo disminuir notoriamente el empleo aros comederos, que se usaban para el suministro libre por parte del animal y que demandaban rollos de 1,5-1,6 m de ancho.
- Creciente difusión de megaenfardadoras, que posibilitan la producción de heno a gran escala, sea para mercado externo o interno. Estos equipos ofrecen megafardos de diferentes dimensiones para abastecer distintas necesidades de mercado.
- Marcada tendencia hacia el uso de sistemas recolectores más anchos que la cámara de compactación, lo que facilita el correcto y parejo llenado de esta, y la utilización de sistemas de atado de doble aguja (doble brazo).
- Significativa adopción del sistema cutter, tanto en rotoenfardadoras como en megaenfardadoras, que corta la fibra en trozos de 8 cm (comunes en un principio) o 4,5 cm de largo (tendencia actual). Este trozado facilita grandemente las tareas diarias en los comederos.
- Difusión de la red como sistema de atado, que se traduce en un notable aumento de la capacidad de trabajo de las rotoenfardadoras

y que es indispensable para el atado de rollos de fibra troceados ("cutteados").

En el futuro cercano se espera una mayor utilización de adelantos tales como:

- Megaenfardadoras y rotoenfardadoras con incorporación de humidímetros y sistemas de aplicación de ácido propiónico y de otros productos conservantes del heno. Estas tecnologías, si bien todavía de muy baja difusión en nuestro país, posibilitan trabajar con mayor contenido de humedad en el forraje.
- Empleo de sistemas de rotulación ("ticketeado") en megaenfardadoras para la identificación individual de cada megafardo, alineado con la adopción de eficientes sistemas de trazabilidad de producto.
- Comunicación inteligente entre el tractor y la megaenfardadora o la rotoenfardadora, de forma tal que se pueda ajustar el ritmo de trabajo de acuerdo al nivel de exigencia, la cantidad de material presente o el contenido de materia seca censado por el implemento.

### *Alternativas de compactación de heno*

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, ya 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 o planta industrial), que muelen el heno a un tamaño de partícula de 2-3 mm, lo humectan o no y lo comprimen en cubos que luego son llevados a un contenido de humedad no mayor del 14 % (Pauli *et al.*, 1988). La densidad de un cubo o de un 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 solo una pequeña parte de la alfalfa conservada en Argentina y se destina a la formulación de alimentos especiales para conejos, chinchillas, equinos y porcinos, y solo eventualmente para vacas lecheras. Un tratamiento más detallado de la producción de cubos y pellets se ofrece en el capítulo 16 de este libro.

#### 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 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 megafardos, el traslado es mecanizado y demanda escasa mano de obra, ya que pueden ser cargados y transportados por un solo operario con un tractor (Bragachini, 1995; Pauli *et al.*, 1988).

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 pallets, postes o grava, bajo cubierta plástica y en estibas separadas entre sí y orientadas de norte a sur para que los bañe la luz del sol durante todo el día, ayudan a minimizar estas pérdidas (Bragachini, 1995) (Figura 18). Como ya se mencionó, las enrolladoras que poseen atador con red ofrecen beneficios durante el almacenaje de rollos a la intemperie, retardando –pero no impidiendo– su deterioro, la actividad microbiana y la generación de micotoxinas. Bruno *et al.* (1991), analizando en el área de Rafaela (Santa Fe) rollos almacenados sin tapar durante nueve meses, determinaron pérdidas de 14 % de MS; en cambio, cuando los rollos fueron tapados con una cubierta plástica, las pérdidas disminuyeron a solo 4,5 % de MS. Para la misma zona, Romero *et al.* (1991) estimaron pérdidas de MS en rollos tapados y sin tapar del orden de 5,5 % y 8,6 %, respectivamente. En otro trabajo, Romero *et al.* (1991) 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 (Romero *et al.*, 1991) 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 esta 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 % (Romero *et al.*, 1991).



■ **Figura 18.** Sistema simple y económico de almacenamientos de rollos de heno de alfalfa logrados con calidad, aislados de la intemperie mediante cubierta plástica y del suelo mediante pallets.

Cuando se trata de megafardos es esencial su almacenamiento bajo cubierta –sea tinglado, galpón o cobertura plástica– ya que su alta densidad (comúnmente 250 a 280 kg m<sup>-3</sup>) torna sumamente difícil el secado luego de una lluvia o ingreso de humedad, condensación superficial, lo que a su vez genera la reactivación microbiana y la descomposición de la fibra, con pérdidas de cantidad y calidad de materia seca.

Cuando se cubran rollos o megafardos con lonas se debe tener la precaución de primero dejar preojar unos días entre el momento de la confección y el tapado; luego, durante 15 días o hasta ver que no se generan más condensaciones de humedad en el interior, se recomienda taparlos a la noche y destaparlos durante el día, obviamente, siempre que no llueva.

## 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 (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 consi-

derablemente menor a la conservación como heno (Hijano y Basigalup, 1995). En la década de 1960, el silaje de alfalfa tuvo una cierta difusión entre productores de avanzada de la región Pampeana, pero más tarde su uso decayó. Sin embargo, en los últimos años se ha renovado el interés en esta técnica y se han llevado a cabo también 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 de 70 % de humedad; y se denomina henolaje, silaje premarchitado o silaje preoreado cuando el forraje es almacenado con un rango de humedad de 40 a 60 %. Durante los últimos años, la producción de silaje y henolaje de fibra larga ha progresado en forma importante en los Estados Unidos, particularmente en zonas donde ocurren frecuentes lluvias durante la época de crecimiento del cultivo, que dificultan la obtención de henos de alta calidad. Bajo esas condiciones de alta humedad, estas técnicas de conservación posibilitan la reducción de pérdidas y la mayor calidad de forraje conservado.

En cualquiera de los casos anteriores, la alfalfa ensilada sufre un proceso fermentativo a bajo pH (condiciones de acidez). 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 (importante sobre todo en zonas de régimen pluvial húmedo o subhúmedo concentrado durante la etapa de crecimiento del cultivo), el alto grado de mecanización del proceso y la posibilidad de conservarlo por períodos prolongados con pérdidas mínimas de calidad (Viviani Rossi *et al.*, 1995). 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 de nutrientes durante el proceso de ensilado de la alfalfa pueden variar desde valores mínimos de 3 %-6 % bajo condiciones adecuadas hasta el 70 % o más cuando el forraje ensilado sufre serias alteraciones (Dulphy y Demarquilly, 1981).

No obstante las limitaciones descritas, 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 (O'Kiely, 1991; Seale *et al.*, 1981). En la Figura 19 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 producen 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 rápidamente 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 Belle (1964), al cabo de 5 a 6 h un silo puede estar totalmente privado de oxígeno, siempre que haya sido sellado rápidamente. Si el sellado ocurre a las 48 h de haber terminado el silo, el proceso respiratorio continúa por 72 h.

Proteólisis: si durante al inicio de la fermentación no se alcanza rápidamente 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 (Carpintero *et al.*, 1979; McKersie, 1985). McDonald *et al.* (1991) 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), esto es 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 solo 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: *Pedicoccus* 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 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  $\text{pH} \leq 4,0$  (dependiendo del contenido en materia seca) el silaje (o he-nolaje) correctamente fermentado se estabiliza. Sin embargo, en caso de que se introduzca aire en la masa ensilada –tanto por pérdida de hermeticidad del silo o por apertura 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.

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
	Comienzo de la acidificación (acción de bacterias coliformes o enterobacterias)
	azúcares → ácido acético + alcohol + CO <sub>2</sub>
	Aminoácidos → amoníaco + AGV (ácidos grasos volátiles)
FERMENTATIVA	Acidificación del medio (acción de bacterias lácticas) Azúcares { bacterias homofermentativas → ácido láctico bacterias heterofermentativas → ácido láctico + ácido acético + alcohol
	Desvíos fermentativos (acción de bacterias butíricas) Azúcares residuales y ácido láctico → CO <sub>2</sub> + ácido butírico + AGV
	Aminoácidos { AGV + NH <sub>3</sub> Aminas
POSFERMENTATIVA	Desarrollo de mohos Azúcares + O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O + calorías Ácidos orgánicos + O <sub>2</sub> → Enmohecimiento
	Desarrollo de levaduras Azúcares → Alcohol + CO <sub>2</sub> Ácido láctico + O <sub>2</sub> → Ácido acético + CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O

■ **Figura 19.** Síntesis esquematizada de las principales transformaciones bioquímicas que ocurren durante las fases del desarrollo de la fermentación en el ensilado de alfalfa.

## Factores que afectan el desarrollo de la fermentación

### Propios de la planta

Estado de madurez y variedad: 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 *et al.* (1969), para lograr un silaje de alfalfa de alta calidad fermentativa, la concentración en CHNE que compense la elevada capacidad buffer de la alfalfa debe ser de entre 12,6 % y 16,1 %. En la Tabla 7 se muestran los valores de CHNE de diversas forrajeras en comparación con alfalfa.

■ **Tabla 7.** 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 ovilla	Espigazón	8	
Trébol rojo	Botón floral	10	
Alfalfa	Principio de floración	8	

Capacidad buffer o tampón: es la capacidad de la planta para resistirse 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.

(Grum *et al.*, 1991). McDonald *et al.* (1991) 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 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 *et al.* (1993), utilizando el modelo de simulación DAFOSYM creado por Buckmaster *et al.* (1990), estimaron que las pérdidas de MS de alfalfa son menores en silo de forraje premarchitado que en silo de forraje proveniente de corte directo (Tabla 8).

■ **Tabla 8.** 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 *et al.* (1993).

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

En síntesis, la estabilidad de un silaje con un forraje preoreado puede ser mayor aun 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 30 % de MS (Tabla 9). 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 (Stalings *et al.*, 1981).

■ **Tabla 9.** 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

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 a los resultados obtenidos por Viviani Rossi y Gutiérrez (1998), 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 (Tabla 10), 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.

■ **Tabla 10.** 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

### *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: el efecto del tamaño de partícula sobre el desarrollo de la fermentación es bien conocido. 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.

Contaminación con tierra: la introducción accidental de tierra junto con el material para 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.

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 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. Posteriormente, Virtanen (1933) 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 señalar que la decisión sobre el uso de aditivos debe estar basada no solo en resultados comprobados científicamente, sino también en la evaluación económica de sus beneficios (Latrille y Alomar, 1993; Polan *et al.*, 1998).

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 <4; 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 (Dumon *et al.*, 1995; Pitt y Leinbensperger, 1987; Polan *et al.*, 1998). Uno de los primeros inoculantes bacterianos comercialmente utilizado contenía *Lactobacillus acidophilus*. Posteriormente se desarrollaron inoculantes a base de *Lactobacillus plantarum*, *Pedococcus pentosaceus* y *Lactobacillus burchneri*.

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.– tiene 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 (Carpintero *et al.*, 1969). La dosis normal de aplicación es de 0,5 %, pero puede variar en función de la forrajera para conservar. Su efecto es hacer descender rápidamente el pH a valores de aproximadamente 4. La acción bactericida del ácido fórmico inhibe el crecimiento de *Clostridium* spp., *Bacillus* spp. y otros géneros del grupo Gram-negativo. Viviani Rossi *et al.* (2001) indicaron que el uso del ácido fórmico (formulado al 85 %) en dosis de 5 l t 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 la Tabla 11, son consistentes con los informados por otros autores (Gutiérrez *et al.*, 1996; Haigh y Chapple, 1998). 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 *et al.* (1998) trabajando en nuestro país con silajes de gramíneas templadas fertilizadas.

■ **Tabla 11.** 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 kg MS <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 solubles; MS = materia seca; N-NH3 = nitrógeno amoniacal.

- 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:

- Acido 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.

- Acido 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 señala 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 (Bragachini *et al.*, 1995). La alternativa más práctica es cortar e hilerar 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 alrededor de 50-60 %. El uso de acondicionadores mecánicos de rodillos 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 ambientales (humedad relativa, viento, temperatura, etc.) y a otros factores, como estado fenológico, nivel de fertilización, 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 (Figura 20), sea esta 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.



■ **Figura 20.** Picado de alfalfa previamente cortada y preoreada para la confección de silaje o henolaje. Foto: gentileza de la firma New Holland.

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 llenado y compactado, es recomendable tapar el silo con algún material plástico para asegurar su hermeticidad. Cuando el volumen para ensilar es inferior a 400-500

toneladas de materia verde, la mejor opción no es confeccionar silos tradicionales, por su elevado nivel de pérdidas; en ese caso, se recomienda utilizar el silobolsa.

Silobolsa. A mediados de la década de 1990 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 t 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 y siloline)*

Como alternativa a las anteriores existe una tecnología que es masivamente utilizada en Inglaterra, Francia, Alemania, Italia y Estados Unidos, pero que todavía tiene muy poca incorporación en nuestro país: el heno-laje empaquetado o “silopaq” (Figura 21, izquierda). El principio básico del “silopaq” es la confección de rollos de forraje húmedo preoreado (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, la independencia respecto al servicio de picado (que en muchas zonas cuesta conseguir, fundamentalmente cuando se trata de pequeñas superficies) y la mayor facilidad de suministro en comparación con el silaje picado.

Existen en el mundo equipos que permiten la confección de silopaq a partir de megafardos, provistos de bandejas especialmente diseñadas para la envoltura con film de este formato de heno.

Una variante al silopaq es la técnica conocida como “siloline”, por la que –en lugar de hacer paquetes individuales con cada rollo– se realiza el

empaquetado conjunto de una serie de rollos (Figura 21, derecha), que se van cargando en una bandeja de encintado y se van alineando y arriando uno contra otro por sus caras planas, al mismo tiempo que se van recubriendo las superficies cilíndricas con polietileno; de esta forma van confeccionando un cilindro continuo dentro de un tubo plástico. Esto último permite ahorrar hasta un 40 % de film y bajar así el costo por kilogramo de materia seca.

Otra modalidad del siloline es el embolsado de 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.



■ **Figura 21.** Confección de forrajes conservados húmedos sin picar como silopaq (izquierda) o siloline (derecha). Fotos: gentileza de McHale y Anderson.

El silopaq comenzó a difundirse en la Argentina a mediados de la década de 1990, cuando se produjo el ingreso de las primeras empaquetadoras de rollos. Estos equipos se presentaban como una alternativa para aquellas zonas donde se dificulta lograr henos de calidad por condiciones ambientales inadecuadas. También aparecieron en un momento en el que existían muy pocos equipos y servicios de picado para ensilaje, que se destinaban masivamente al picado de maíz. En ese contexto, las empaquetadoras de rollos se presentaban como una alternativa que posibilitaba obtener forraje de alta calidad con equipos de bajo costo y sin

depender de un contratista, que además muchas veces no cubría el servicio por tratarse de superficies de poca relevancia (Bragachini *et al.*, 2018).

La difusión del silopaq en nuestro país comenzó a limitarse cuando el picado fino de forraje comenzó a expandirse en forma acelerada, a la vez que lo hacía el concepto de TMR (ración totalmente mezclada) realizada en un mixer, más aún cuando los mixers disponibles en aquel entonces no permitían –en general– desmenuzar un rollo de heno, particularmente si se trataba de rollos de alta humedad.

No obstante, a partir de la difusión durante los últimos años en la Argentina de las rotoenfardadoras con sistema procesador de fibra (*cutter*), que permiten aprovechar los rollos de silopaq en un acoplado mezclador (*mixer*), y de la aparición en el mercado de diferentes opciones de mixers trozadores de fibra, los equipos de henolaje comenzaron a recuperar cierta. Sin embargo, la mayor o menor adopción de estos equipos puedan tener en el futuro estará ligada al costo de importación y al efecto que sobre este tendrán las políticas cambiarias que se vayan sucediendo.

Según la información generada en nuestro país, las pérdidas en cantidad y calidad de forraje a partir de la confección de silopaq 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 (Ranking, 2019). 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.

- Características del film de polietileno

La película o film de polietileno debe reunir ciertas condiciones: resistencia al “envejecimiento” 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 (1988) señalaron que el film no solo debe mantener sus propiedades, sino también la hermeticidad durante el almacenamiento (lo que se denomina estabilidad a largo plazo), que –según estos autores– puede llegar a los seis meses e incluso a un año. Las bobinas de polietileno tienen usualmente 500 o 750 mm de ancho, 1.500 o 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 film entre dos rodillos de goma paralelos antes de adherirlo al rollo, tiene como fin activar la memoria de este 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

El rendimiento del proceso 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>. Existen en el mercado rotoempacadoras capaces de confeccionar rollos mientras simultáneamente van empacando el rollo anterior (Figura 22). Estos equipos permiten lograr iguales, e incluso mayores, capacidades de trabajo que la opción de alimentación permanente con rollos en la bandeja de encintado estacionaria.



■ **Figura 22.** Rotoempacadora con gran capacidad de trabajo para la confección de silopaq. Foto: gentileza de Kverneland.

- 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.

## Consideraciones finales

En este capítulo se reseñaron diversos aspectos de importancia para la producción de forraje conservado de alfalfa de alta calidad en 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 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, variedades seleccionadas por mayor calidad forrajera y distintos productos que se desarrollen, evaluando su adaptación a las condiciones agroecológicas y a los sistemas de producción de nuestro país.

## BIBLIOGRAFÍA

ARAGÓN, J.R.; J.M. IMWINKELRIED. 1995. *Plagas de la alfalfa*. En: HIJANO, E.; A. Navarro (ed.). *La Alfalfa en la Argentina*. INTA, Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11. 83-104 pp.

BARNES, R.F.; C.H. GORDON. 1972. *Feeding Value and On-Farm Feeding*. En: HANSON, C. (ed.). *Alfalfa Science and Technology*. ASA, Agronomy 15, Madison, WI, EUA. 601-630 pp.

BARRENECHEA, A.; L. POZZO. 1993. *Reservas de Forraje: Alfalfa para Animales Lecheros*. INTA EEA Manfredi. Proyecto MEPROLE, 7 p.

BASIGALUP, D.H. 2007. *Capítulo 5. Mejoramiento genético y desarrollo de variedades*. En: BASIGALUP, D. (Ed.). *El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina*. Ediciones INTA, Buenos Aires. 81-108 pp.

BERGER, M.E.; R.J. LEÓN; 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.

BERGER, M.E.; R.J. LEÓN; 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.

BODEN, S.M. 1965. *Técnica de la Henificación Acelerada*. Ed. Acibia, Zaragoza, España, 135 p.

BRAGACHINI, M. 1995. *Heno de Calidad*. Cuaderno Actualización N.º 1, Proyecto PROPEFO, EEA Manfredi, INTA. 84 p.

BRAGACHINI, M.; P. CATTANI; E. RAMÍREZ. 1995. *Todo Forraje: Manual de maquinaria para la producción de forrajes conservado de alta calidad*. Proyecto PROPEFO, EEA Manfredi, INTA. 189 p.

BRAGACHINI, M.; F. SÁNCHEZ; G. URRETS ZAVALÍA. 2018. *Dossier de Maquinaria Forrajera. Informe especial del rubro maquinaria forrajera elaborado por técnicos del INTA Manfredi*. (Disponible: [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_reservas/reservas\\_en\\_general/53-maquinas-forrajeras.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_en_general/53-maquinas-forrajeras.pdf) consultado: 4/6/2019).

BRUNO, O.A.; L.A. ROMERO; M.C. GAGGIOTTI. 1991. *Influencia del período de almacenamiento sobre la calidad de los henos*. *Jorn. Inf. Téc. para Prod., EEA Rafaela, INTA*. 53-54 pp.

BRUNO, O.A.; L.A. ROMERO; M.C. GAGGIOTTI; O.R. QUAINO. 1993. *Chemical composition of two lucerne cultivars*. XVII Int. Grassland Congress, N. Zealand. Summary Sessions 1-24: 45-46.

BUCKMASTER, D.R.; C.A. ROTZ; J.R. BLACK. 1990. *Value of alfalfa losses on dairy farms*. *Trans. ASAE* 33: 351-360.

BUXTON, D.R.; J.S. HORNSTEIN; W.F. WEDIN; G.C. MARTEN. 1985. *Forage quality in stratified canopies of alfalfa, birdsfoot trefoil, and red clover*. *Crop Sci.* 25: 273-279.

CARPINTERO, C.M.; A.R. HENDERSON; P. MCDONALD. 1979. *The effect of some pre-treatments on proteolysis during the ensiling of herbage*. *Grass and Forage Sci.* 34: 311-315.

CARPINTERO, M.C.; A.J. HOLDING; P. MCDONALD. 1969. *Fermentation studies on Lucerne*. *J. Sci. Fd. Agric.* 20: 678-681.

COBLENTZ, W.; J. JENNINGS; K. COFFEY. 2004. *Biology and effects of spontaneous heating in hay*. *Proceedings of the National Alfalfa Symposium, Univ. of California, Davis, San Diego, CA. EUA.*

COLLINS, M. 1990. *Composition and yields of alfalfa fresh forage, field cured hay, and pressed forage*. *Agron. J.* 82: 91-95.

DEMARQUILLY, C.; R. JARRIGE. 1970. *The effect of method of forage conservation on digestibility and voluntary intake* *Proc. Of the 11th Int. Grassland Congress. Surfers Paradise, Queensland, Australia.* 733-737 pp.

DEVUYST, A.; M. VAN BELLE. 1964. *Les bases scientifiques de l'ensilage*. *Agriculture Vol. XII. 2.º serie N.º 1.* 125-140 pp.

DULPHY, J.; C. DEMARQUILLY. 1981. *Problemes particulieres aux ensilages. Prévision de la valeur nutritive des aliments de Ruminants*. *INRA Publ.* 81-104 pp.

DUMON, M.G.; E.M. VIVIANI ROSSI; E.M. MORENO; M.G. MONTERUBBIANESI, L.M. GUTIERREZ; 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.

FICK, G.W.; S.C. MUELLER. 1989. *Alfalfa: quality, maturity, and mean stage of development*. *Information Bulletin 217. Cornell University, Dept. of Agronomy, NY, EUA.* 13 p.

FONNESBECK, P.V.; M.M. GARCÍA DE HERNÁNDEZ; J.M. KAYKAY; M.Y. SAIADY. 1986. *Estimating yield and nutrient losses due to rainfall and field drying alfalfa hay*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 16: 7-15.

GAILLARD, F.; J.L. BERNER. 1988. *La technique de l'ensilage en balles rondes sous film tirable*. *BTMEA, CEMAGREF.* 33: 34-44.

GOERING, H.K.; P.J. VAN SOEST. 1970. *Forage Fiber Analysis: Apparatus, reagents, procedures and some applications*. *USDA Agric. Handbook N 379. U.S. Government Printing Office, Washington, DC, EUA.*

GRUM, D.E.; W.L. SHOCKEY; W.P. WEISS. 1991. *Electrophoretic examination of alfalfa silage proteins*. *J. of Dairy Sci.* 74(1): 146-174.

GUTIÉRREZ, L.M.; G. ROLDÁN; E.M. VIVIANI ROSSI; A. MAUTI; E. DELPECH. 1996. *El cido fórmico y la fertilización nitrogenada sobre el silaje de avena cv Bonaerense Pay*. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 16 (Supl. 1): 225-226.

GUTIÉRREZ, L.M., E.M. VIVIANI ROSSI; H.E. LABORDE; E. DELPECH. 1998. *Efecto de un aditivo orgánico al silaje de avena y trbol rojo*. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 18 (Sup. 1): 141-142.

HAIGH, P.M.; 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.

HIJANO, E.H. 1993. *Enfermedades de la alfalfa. SubPrograma Alfalfa (ed) Alfalfa: Protección de la pastura. Agro Manuales de Cuyo 4, EEA Manfredi, INTA.* 9-28 pp.

HIJANO, E.H.; D.H. BASIGALUP. 1995. *El cultivo de la alfalfa en la Republica Argentina. En: HIJANO, E.; A. Navarro (ed.). La Alfalfa en la Argentina. Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, INTA.* 11-18 pp.

HILL, R.R.; J.S. SHENK; R.F. BARNES. 1988. *Breeding for yield and Quality. En: HANSON, A.; D. BARNES; R. HILL. Jr. (ed.). Alfalfa and Alfalfa Improvement. Agronomy, Series 29, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, EUA.* 809-825 pp.

HOLLAND, C.; W. KEZAR. 1990. *Pionner Forage Manual: A Nutritional Guide. Pionner HI-Bred International, Des Moines, Iowa, EUA.* 55 p.

HUSET, D.E.; D.A. SCHNEBBE; J.L. KUGLER; M.A. PETERSON. 1991. *Registration of 'WL 322 HQ' alfalfa. Crop Sci.* 31: 1699-1670.

IWAN, J.M.; J.F. SHANAHAN; D.H. SMITH. 1993. *Impact of environmental and harvest management variables on alfalfa forage drying and quality. Agron. J.* 85: 216-220.

JOHNSON, L.; D. JOHNSON; J. REICH. 2002. *Alfalfa varieties now and in the future from CAL/WEST Seeds. Proceedings 32nd Western Alfalfa & Forage Conference. Univ. of California, Davis, Reno, Nevada, EUA.* 215 p.

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.* 6-11 pp.

JUAN, N.A.; M.P. AZCÁRATE; 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.º 71, EEA Anguil INTA.* 88-93 pp.

JUAN, N.A.; R. JOULI; A.J. PORDOMINGO; F. BABINEC. 2001. *Utilización de henos de alfalfa y de avena para sustituir verdeo de avena en invernada. Bol. Div. Técnica N.º 71, EEA Anguil INTA.* 96-99 pp.

JUAN, N.A.; A.J. PORDOMINGO; R. JOULI. 2001. *Engorde de vaquillonas a corral con silaje de maíz y heno de alfalfa. Bol. Div. Técnica N.º 71, EEA Anguil INTA.* 159-162 pp.

JUAN, N.A.; L.A. ROMERO; O.A. BRUNO. 1995. *Conservación del forraje de alfalfa. En: HIJANO, E.; A. NAVARRO (ed.). La Alfalfa en la Argentina. Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11, INTA.* 173-192 pp.

JUAN, N.A.; C.C. SHEAFFER; D.K. BARNES; D.R. SWANSON; J.H. HALGERSON. 1993. *Leaf and stem traits and herbage quality of multifoliolate alfalfa. Agron. J.* 85: 1121-1127.

JUAN, N.A.; C.C. SHEAFFER, D.K. BARNES. 1990. *Alfalfa multileaflet expression and its relation to forage quality. Report 32nd. North American Alfalfa Improvement Conference, Pasco, WA, EUA.* 32 p.

- KALU, B.A.; G.W. FICK. 1983. *Morphological stage of development as a predictor of alfalfa herbage quality*. *Crop Sci.* 23: 1167-1172.
- KJELGAARD, W. 1979. *Energy and time needs in forage systems*. *Trans. ASAE.* 22: 3.
- KOEGEL, R.G.; R.J. STRAUB; R.P. WALGENBACH. 1985. *Quantification of mechanical losses in forage harvesting*. *Trans. ASAE* 28: 1047-1051.
- LATRILLE, L.; D. ALOMAR. 1993. *Experiencias en el uso de aditivos de ensilajes*. *Ciencias e Investigación Agraria (Chile)* 20 (2): 345-371.
- LECHTEMBERG, V. L.; V.A. HOLT. 1982. *Innovations in hay harvesting and storing*. *Proc. Natl. Alfalfa Symp., Lexington, KY. Certified Alfalfa Seed Council, Woodland, CA, EUA.* 38-47 pp.
- LINN, J.; N.P. MARTIN. 1985. *Using Forage Test Results in Dairy Rations*. *Agric. Extension Service Bulletin, AG-FO-2637, Univ. of Minnesota, EUA.* 5 p.
- LOPER, G.M. 1968. *Effect of aphid infestation on the coumestrol content of alfalfa varieties differing in aphid resistance*. *Crop Sci.* 8: 104-106.
- MACDONALD, A.D.; E.A. CLARK. 1987. *Water and quality loss during field drying of hay*. *Advances in Agronomy* 41: 407-437.
- MANITOBA AGRICULTURE, 2005. *The breakdown on hay preservatives and additives, Manitoba Agric., Food and Rural Initiatives, Manitoba, Canadá,* 7 p.
- MARTEN, G.C.; R.N. ANDERSEN. 1975. *Forage nutritive value and palatability of 12 common annual weeds*. *Crop Sci.* 15: 821-827.
- MARTEN, G.C.; J.S. SHENK; F.E. BARTON. 1990. *Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): Analysis of forage quality*. *USDA-ARS Agric. Handbook N.º 643. U.S. Government, Washington D.C., EUA.* 110 p.
- MARTEN, G.C.; D.R. BUXTON; R.F. BARNES. 1988. *Feeding Value (Forage Quality)*. En: HANSON, A.; D. BARNES; R. HILL. Jr. (ed.). *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. *Agronomy, Series 29, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, EUA.* 463-491 pp.
- MAYLAND, H.F.; G. SHEWMAKER; J. BURNS; D. FISHER. 1998. *Morning and evening harvest effects on animal performance*. *Proc. California Alfalfa Symposium. Univ. of California, Davis. Reno, NV, EUA.*
- MCDONALD, P.; A.R. HENDERSON; S.J.E. HERON. 1991. *Biochemistry of Silage (2nd ed.)*. *Chalcombe Publishers, Reino Unido.* 340 p.
- MCKERSIE, B.D. 1985. *Effect of pH on proteolysis in ensiled legume forage*. *Agronomy Journal.* 77: 81-86.
- O'KIELY, P. 1991. *Factors affecting silage fermentation*. *Proc. 5th Annual European Animal Production Congress. Dublin. Irlanda.* 79-119 pp.
- ODDINO, C. 1993. *Principales aspectos a tener en cuenta para lograr rollos de calidad*. 1.ª *Jornadas Nac. de Reservas Forrajeras. EEA Manfredi INTA.* 1-6 pp.

- ODORIZZI, A.; E. MAMANÍ; P. SIPOWICZ; B. JULIER; J. GIECO; D. BASIGALUP. 2015. *Effect of phenotypic recurrent selection on genetic diversity of non-dormant multifoliate lucerne (Medicago sativa L.) populations. Crop and Pasture Science.* 66. 1190. 10.1071/CP14280.
- ORLOFF, S.; R. VARGAS; W. CANEVARI; K. HEMBREE. 2003. *Progress in Roundup Ready alfalfa. Proc. California Alfalfa Symposium. Monterrey, CA. UC Cooperative Extension, Univ. of California, Davis.*
- PAULI, A.W.; V.L. LECHTEMBERG; W.F. WEDIN. 1988. *Equipment for harvesting, transporting, storing and feeding. En: HANSON, A.; D. BARNES; R. HILL. Jr. (ed.). Alfalfa and Alfalfa Improvement. Agronomy, Series 29. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, EUA. 567-594 pp.*
- PITT, R.E.; R.Y. LEINBENSBERGER. 1987. *The effectiveness of silage inoculants: A systems approach. Agricultural Systems* 25: 27-49.
- POLAN, C.E.; D.E. STIEVE; 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.
- RAINERO, H.P.; N.E. RODRÍGUEZ; J.A. LÓPEZ; N.M. RODRÍGUEZ. 1995. *Manejo de las malezas en el cultivo de alfalfa. En: HIJANO, E.; A. NAVARRO (ed.). La Alfalfa en la Argentina. Subprograma Alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo, Manuales 11. INTA. 108-122 pp.*
- RANKING, M. 2019. *Make great baleage. Hay & Forage, EUA. (Disponible: <https://hayandforage.com/article-2440-Make-great-baleage.html> consultado: 5/10/2019).*
- ROGERS, J. 2003. *Is your hay cut right but baled wrong? Ag News & Views. The Samuel Roberts Noble Foundation.*
- ROGERS, J. 2005. *The costs of hay waste add up. Ag News & Views. The Samuel Roberts Noble Foundation.*
- ROMERO, L.; O. BRUNO; M. DÍAZ; M. GAGGIOTTI. 1995. *Efecto del momento de empaquetado sobre la calidad de henolajes de alfalfa. Información Técnica para Productores. EEA Rafaela INTA. 10 p.*
- ROMERO, L.A.; O.A. BRUNO; M.C. GAGGIOTTI. 1991. *Alimentación de vaquillonas con rollos de alfalfa tapados y sin tapar. Jorn. Información Técnica para Productores. EEA Rafaela INTA. 65-66 pp.*
- ROMERO, L.A.; O.A. BRUNO; M.C. GAGGIOTTI. 1991. *Sistemas de almacenamiento de rollos. Jorn. Información Técnica para Productores. EEA Rafaela INTA.*
- ROMERO, L.A.; O.A. BRUNO; J.L. FOSSATI; H.F. FENOGLIO. 1986. *Comparación de rollos y fardos: evaluación de la calidad. EEA Rafaela INTA. Información para Extensión N.º 57. EEA Rafaela INTA. 4 p.*
- ROMERO, L.A.; O.A. BRUNO; J.L. FOSSATI; M.J. MONDINO; O.R. QUAINO. 1986. *Calidad de rollos: evaluación preliminar. Información para Extensión N.º 67. EEA Rafaela INTA. 6 p.*

- ROTZ, C.A.; R.E. MUCK. 1994. *Changes in forage quality during harvest and storage*. En: FAHEY, M. COLLINS; D. MERTENS; L. MOSER (ed.). *Forage quality, evaluation and utilization*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, EUA. 828-868 pp.
- ROTZ, C.A.; R.E. PITT; R.E. MUCK; M.S. ALLEN; D.R. BUCKMASTER. 1993. *Direct-cut harvest and storage of alfalfa on the dairy farm*. *Trans. ASAE* 36(3): 621-628.
- ROTZ, C.A.; R.J. DAVIS; S.M. ABRAMS. 1991. *Influence of rain and crop characteristics on alfalfa damage*. *Trans. ASAE* 34: 1583-1591.
- ROTZ, C.A.; S.M. ABRAMS; R.J. DAVIS. 1987. *Alfalfa drying, loss and quality as influenced by mechanical and chemical conditioning*. *Trans. ASAE* 30: 630-635.
- SÁNCHEZ, F.; G. URRETS ZAVALÍA; J. GIORDANO; P. CATTANI. 2016. *Segadoras acondicionadoras. El secreto de la rentabilidad en el corte de alfalfa*. *Revista Tecno Forrajes INIA Manfredi*. (Disponible: <https://inta.gob.ar/documentos/especial-corte-de-alfalfasegadoras-acondicionadoras> consultado: 4/3/2019).
- SAVOIE, P.; C.A. ROTZ; H.F. BUCHOLTZ; R.C. BROOK. 1982. *Hay harvesting system losses and drying rates*. *Trans. ASAE* 25: 581-585.
- SEALE, D.R.; C.M. QUINN; P.A. WHITTAKER. 1981. *Microbiological and chemical changes during the first 22 days of ensilage of different grasses*. *J. Agric. Res.* 20: 61-71.
- SHEAFFER, C.C.; G.D. LACEFIELD; V.L. MARBLE. 1988. *Cutting schedules and stands*. En: HANSON, A.; D. BARNES; R. HILL. Jr. (ed.). *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. Agronomy, Series 29, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, EUA. 411-437 pp.
- SHENK, J. S.; M.O. WESTERHAUS. 1994. *The application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis*. En: FAHEY, G.; M. COLLINS; D. MERTENS; L. MOSER (ed.). *Forage quality, evaluation and utilization*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, EUA. 406-449 pp.
- SHINNERS, K.J.; R.G. KOEGEL; R.J. STRAUB. 1991. *Leaf loss and drying rate of alfalfa as affected by conditioning roll type*. *Appl. Eng. Agric.* 7: 46-49.
- STALINGS, C.C.; R. TOWNES; B.W. JESSE; J.W. THOMAS. 1981. *Changes in alfalfa haylage during wilting and ensiling with and without additives*. *J. Anim. Sci.* 53: 765-773.
- TILLEY, J.M.; R.A. TERRY. 1963. *A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops*. *J. Br. Grassl. Soc.* 18: 104-111.
- UNDERSANDER, D.; N. MARTIN; D. COSGROVE; K. KELLING; M. SCHMITT; J. WEDBERG; R. BECKER; C. GRAU; J. DOLL. 1991. *Alfalfa Management Guide*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, EUA. 41 p.
- URRETS ZAVALÍA, G.; N.A. JUAN; D.H. BASIGALUP; A. ODORIZZI; V. AROLFO; S. OLIVO. 2018a. *Tipificación de Heno de Alfalfa Argentino*. (Disponible: <https://inta.gob.ar/documentos/tipificacion-del-heno-de-alfalfa-argentino> consultado: 18/9/2019).
- USDA - NATIONAL AGRICULTURAL STATISTICS SERVICE. 2019. *Crop Production 2018: Summary*. (Disponible: [https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays\\_Reports/reports/cropan19.pdf](https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/cropan19.pdf) consultado: 4/8/2019).

- VILLATA, C.A. 1993. *Bioecología y control de plagas en alfalfa. SubPrograma Alfalfa. Alfalfa: Protección de la pastura. Agro Manules de Cuyo 4, EEA Manfredi, INTA. 31-76 pp.*
- VIRTANEN, A. 1933. *The A.I.V. method of preserving fresh fodder. Emp J Exp Agric 1: 143-155.*
- VIVIANI ROSSI, E.M.; L.M. GUTIÉRREZ; 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.*
- VIVIANI ROSSI, E.; L. GUTIÉRREZ. 1998. *Aditivos para silajes y henolajes. Últimos avances en silajes. Curso de Actualización para Profesionales. INTA PROPEFO. EEA Manfredi INTA. 15-20 pp.*
- VIVIANI ROSSI, E.M.; E. MORENO; S. SAN MARTINO; 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.*
- VOLENEC, J.J.; J. CHERNEY. 1990. *Yield components, morphology, and forage quality of multifoliolate alfalfa phenotypes. Crop Sci. 30: 1234-1238.*
- WHITNEY, L.; H. AGRAMAL; R. LIVINGSTON. 1969. *Stomatal effects on high temperature, short time drying of alfalfa leaves. Trans. ASAE. 769-771 pp.*
- WILKEN, L.; F.C. GIORDANI; C. MARÍN MORENO; N. NOACCO; L. GONZÁLEZ VICTORICA; E. SERRANTES; F. ELIZALDE. 1978. *Reserva de Forrajes: Henificación. Rev. Nuestro Holado (Arg.). Fascículo de Orientación Técnica N.º 6. 14 p.*
- ZUBIZARRETA, J. 1992. *Reservas: Uso y Análisis. Rev. CREA. Junio/Julio. 90-97 pp.*