

Conservación de forrajes (II): Fundamentos de la henificación

En este segundo trabajo de la Conservación de Forrajes se describe el proceso de henificación y, por tanto, todos los pasos que llevan a que el forraje segado pierda la cantidad de agua suficiente para poder ser conservado con las menores pérdidas nutritivas posibles. Asimismo, se analizan las causas de las pérdidas de valor alimenticio que el forraje experimenta desde el estado verde original. Durante el proceso que conduce a la formación del heno se experimentan una serie de modificaciones en la composición química del forraje original lo que conlleva cambios en el valor nutritivo y de la digestibilidad del mismo. Estas pérdidas, que son consecuencia del nivel de humedad del forraje en desecación hacen necesario acelerar dicho proceso de secado. Por ello, se comentan se comenta el método más habitual para lograrlo, como es el "acondicionado" de forraje..

1.- Fundamentos del proceso

El objetivo de la henificación es, como ya sabemos, reducir la humedad del forraje hasta alcanzar un nivel limitante (25 % o inferior) para la actividad vegetal y que inhiba el crecimiento y desarrollo fúngico y bacteriano.

Según el contenido inicial de agua del forraje será necesario evaporar entre 2 y 5 kg de agua por kg de materia seca. Figura 1

El forraje, una vez segado, queda extendido sobre el terreno, expuesto al sol para su secado. El proceso de henificación natural de los forrajes verdes, por tanto, no es más que una serie de actuaciones mediante las cuales, después del segado del forraje, se extiende y voltea durante el día para que pierda humedad, y se recoge o hilera durante la noche para que la absorción de humedad ambiental sea lo más pequeña posible.

La desecación del forraje en el campo se realiza en tres fases, tal y como se observa en la curva de secado descrita por Jones y Harris (1979) (Figura2).

- a) La **primera fase** implica una rápida pérdida de agua que se produce cuando la humedad del forraje es elevada, los estomas de las hojas están abiertos y la presión parcial del vapor de agua del forraje es muy superior a la del aire cir-

cundante. Esta pérdida inicial de humedad de la planta segada puede ser del orden de 1 g/g de MS y hora. El agua se evapora rápidamente de las hojas, tanto en gramíneas como en leguminosas, y una pequeña cantidad de la contenida en los tallos. Cuando cae la presión osmótica de las células más exteriores, los estomas se cierran y la eliminación del agua que queda tiene que producirse a través de la epidermis y de la cutícula. Tras el cierre de los estomas, permanece alrededor del 70-80% del agua inicial contenida en el forraje. Esta primera fase, bajo condiciones atmosféricas favorables, es bastante breve.

El movimiento del agua se produce tanto en dirección axial a lo largo del tallo como en dirección radial hacia la superficie de éste. El paso natural del agua a lo largo del tallo y a través de las hojas es el recorrido principal del agua en esta primera fase del secado. Al menos el 35% del agua contenida en los tallos de alfalfa cuando ésta se siega se pierde a través de las hojas. Por esta razón, la velocidad de secado en plantas intactas es mayor que en aquéllas donde se han desprendido una gran cantidad de hojas y tallos.



Antonio Callejo Ramos. Dr. Ingeniero Agrónomo
antonio.callejo@upm.es
Dpto. de Producción Agraria - E.T.S.I.A.A.B.-UPM

b) La **segunda fase** del proceso de desecación del forraje es más prolongada e implica la evaporación del agua a través de la cutícula exterior de los tallos y de las hojas. La estructura de la hoja, las características de la cutícula y la estructura de la planta influyen sobre la duración de esta fase. La alteración y/o eliminación de la cutícula acelera la pérdida de agua. El metabolismo de la planta continúa y esta segunda fase puede prolongarse si el forraje es denso, la humedad relativa es alta o si hay una escasa circulación de agua a través de la masa de forraje que se está secando. Una vez que la humedad descende del 45%, el agua restante es más difícil de eliminar, de manera que en la fase final del proceso de henificación, el agua está más fuertemente unida al material vegetal. A niveles inferiores al 40% de humedad se forman bolsas de aire en el xilema y parénquima de la planta. Esto rompe el gradiente de humedad existente y el movimiento axial del agua se ralentiza considerablemente, por lo que el movimiento del agua principal se da ahora en dirección radial. El ritmo al que el agua se desplaza a través de la planta se conoce como difusividad. Pues bien, la difusividad del agua en dirección radial es 10 veces inferior que en dirección axial. De igual forma, la difusividad a través de la epidermis es 1.000 veces inferior que en sentido radial.

c) La **fase 3** a menudo se prolonga debido a la existencia de una humedad relativa alta alrededor del forraje. Aunque el nivel metabólico de la planta es ya bastante bajo en esta fase, el forraje es mucho más susceptible a experimentar deterioro de su calidad debido a factores ambientales y de manejo del mismo. Esta tercera fase continúa hasta que el forraje está suficientemente seco para ser empacado.

2.- Velocidad de secado

El secado del forraje depende de un número importante de factores ambientales que, usualmente, no son controlables:

- La intensidad de la radiación solar
- La temperatura del aire
- La humedad relativa
- La velocidad del viento
- Humedad del suelo

Estos factores, a su vez, varían con las épocas



del año y con las horas del día. En condiciones de henificación en el campo, pueden requerirse entre dos o tres días en zona seca, y hasta 14 o más días en zonas húmedas. La desecación natural de los forrajes verdes se produce de forma efectiva a partir de temperaturas de 15 °C, con una humedad relativa no superior al 70 % (Figura 3).

Figura 1. Peso de agua a evaporar por kilo de materia seca para obtener un heno estable con el 85% de MS (Cemagref, 1995)

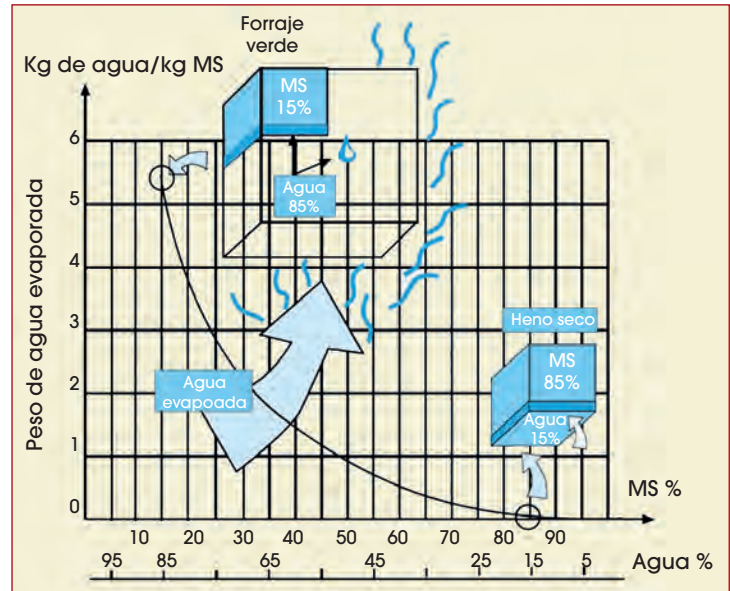


Figura 2. Típica curva de secado de forraje (cordón poco espeso, temperatura de 20 °C, HR del 50%, velocidad del aire de 1 m/s) (Jones y Harris, 1979)

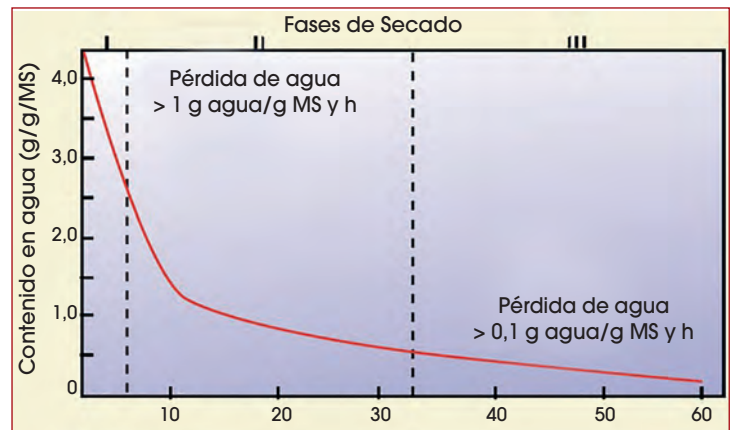
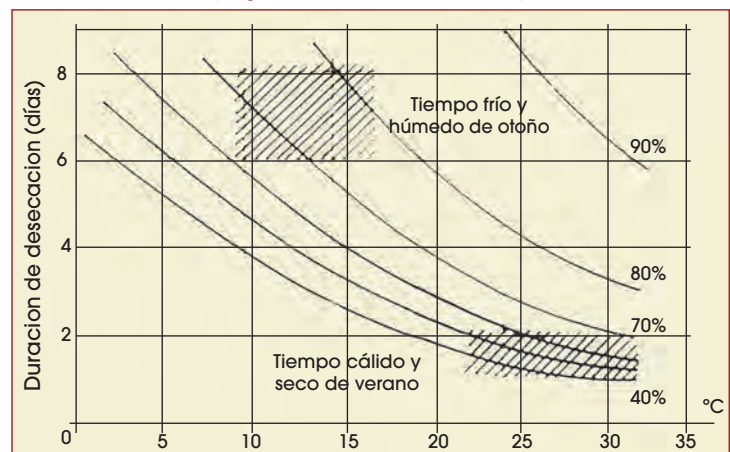
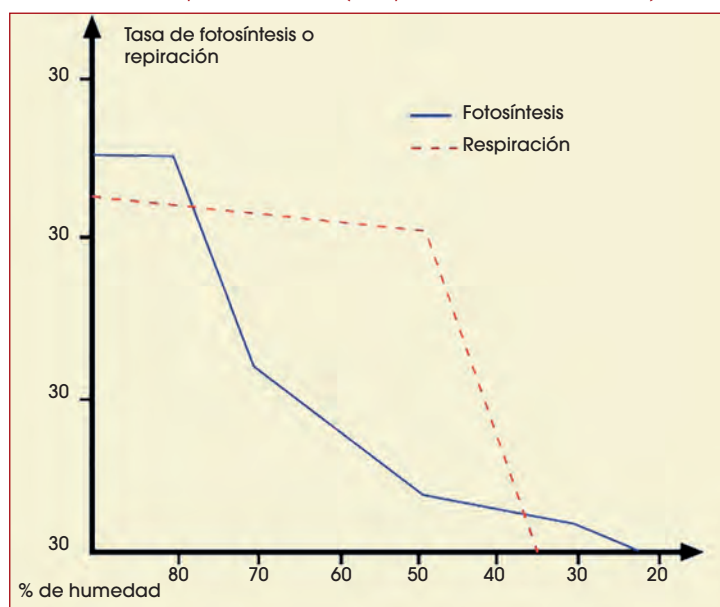


Figura 3. Desecación natural de los forrajes verdes (Segler, 1966; de Urbano, 1989)



Conservación de forrajes (II): Fundamentos de la henificación

Figura 4. Evolución del ritmo de fotosíntesis y de respiración de la hierba después del corte (adaptado de Greenhill, 1959)



La naturaleza del forraje también es un factor a considerar. Las leguminosas, en general, tardan en secarse más tiempo que las gramíneas debido a:

1. Un mayor contenido inicial en agua
2. Un mayor porcentaje de tallos.

El rendimiento del cultivo influye de forma que cuanto mayor es éste, mayor será la cantidad de agua a evaporar por hectárea y, por lo tanto, aumenta el tiempo de secado.

También existen diferencias entre especies. La velocidad de secado de la festuca elevada es cuatro veces más rápida que la del ray-grass inglés debido a la mayor relación hojas/tallo y a la disposición de los estomas.

El empleo de medios mecánicos (acondicionadores) para romper los tallos, incrementa la velocidad de secado. Más adelante hablaremos de ellos.

El tamaño y la densidad del cordón de forraje recién segado y dejado en el suelo tras el paso de la máquina segadora son importantes en relación a las condiciones atmosféricas reinantes durante el proceso de henificación. Por ejemplo, además de la humedad contenida en el forraje segado, debe añadirse el agua que pueda formarse por la oxidación de los azúcares de la planta. Un cordón de forraje compacto, denso, apretado, puede tornarse más húmedo después de la siega. Por otra parte, la desecación de la superficie puede dar lugar a apreciables diferencias entre la parte superior y el centro del cordón de forraje, en lo que respecta al nivel de humedad. En estas circunstancias, las hojas de las zonas exteriores se vuelven quebradizas y se deshacen o desprenden al manejar el forraje. Se producen, asimismo, pérdidas de hasta el 10% de materia seca por respiración en la parte central del cordón, la más húmeda. En consecuencia, la temperatura, el número de horas de sol y la perspectiva de lluvia durante el proceso de henificado son cuestiones importantes para determinar el método y equipo de recolección o siega.

3. Modificaciones de la composición química durante el secado

Estas modificaciones dependen de procesos enzimáticos que se desarrollan en la planta tras la siega, de las pérdidas mecánicas sufridas por el fo-

rraje y del posible lavado de componentes solubles de la planta por el agua de lluvia.

3.1.- Procesos enzimáticos

Respiración. La planta continúa respirando mientras está "viva", es decir, mientras que la materia seca sea inferior al 70-80% (Figura 4). La respiración equivale a una combustión y podría expresarse del modo siguiente:



Este proceso se traduce en una pérdida de materia seca que, en general, representa entre el 6 y el 8% de la materia seca inicial pero, en ocasiones, puede alcanzar un 20%. La disminución del contenido en azúcares entraña un aumento relativo de otros nutrientes.

Proteolisis. Una parte de las proteínas insolubles se degradan a nitrógeno soluble, por lo que la cantidad de nitrógeno no proteico y de nitrógeno soluble aumentan. Esta degradación proteica puede suponer entre el 0 y el 45% de las proteínas, dependiendo de la velocidad de desecación del forraje. El contenido total de nitrógeno, sin embargo, varía muy poco o nada, y la degradabilidad tampoco se modifica sustancialmente, por lo que las proteínas restantes son menos degradables en el rumen.

Otras modificaciones enzimáticas. Afectan esencialmente a las vitaminas. Los niveles de carotenos y de clorofila disminuyen considerablemente (hasta el 90-95%), siendo esta disminución especialmente alta en días calurosos, y mayor en el heno obtenido por secado en campo que en forraje secado artificialmente o que en forraje ensilado; ello se debe a la destrucción de una lipoxidasa. Cuando el secado es rápido, tanto natural como artificialmente, la lipoxidasa se inactiva rápidamente y se reducen las pérdidas de caroteno. Lo mismo sucede con la vitamina B, y la vitamina C prácticamente desaparece. Por el contrario, el contenido de vitamina D aumenta, tanto más cuanto más prolongada sea la exposición al sol del heno. La vitamina E (tocoferol) es mayor en plantas jóvenes que en plantas maduras y su contenido también disminuye durante la henificación.

3.2.- Pérdidas mecánicas

En el curso de las sucesivas operaciones de siega, hilerado, volteado y empacado del forraje, las partes más frágiles y las más secas de la planta (hojas, principalmente) se desprenden y se depositan en el suelo. En las gramíneas, los limbos son bastante resistentes a su caída y las pérdidas de materia seca suelen ser inferiores al 5%. Por el contrario, en las leguminosas las pérdidas pueden alcanzar el 25%.

Las hojas son más ricas en minerales, nitrógeno, etc. y más digeribles que los tallos, por lo que la mayor importancia de las pérdidas mecánicas de las leguminosas resulta en un menor contenido del heno en los nutrientes referidos y, por tanto, en una digestibilidad inferior.

La tabla 1 (pag. siguiente) demuestra que realizar las diversas operaciones del proceso de henificación cuando el forraje tiene un nivel de humedad adecuado es esencial para minimizar las pérdidas. De la tabla se infiere que el último hilerado y/o rastrillado no deberían darse por debajo de un contenido en agua del 50% y que no debería empacarse con más del 18-20% de humedad.

3.3.- Consecuencias de la lluvia

Si llueve durante el proceso de henificación, las consecuencias suelen ser bastante negativas:

- Cuando llueve sobre un forraje aún "vivo" aumentan las pérdidas por respiración, lo que retarda el proceso.
- Cuando llueve sobre un heno ya hecho, en el que las células han perdido su permeabilidad selectiva al agua, la lluvia produce, por lixiviación, pérdida de materia seca soluble; glúcidos, componentes nitrogenados, ciertos minerales,...
- Cuando el tiempo lluvioso se prolonga se favorece el desarrollo de ciertas bacterias y mohos que van a metabolizar una parte de la materia orgánica de la planta y, en casos extremos, dando lugar a la pérdida completa del producto no siendo apto para su consumo.

La caída de lluvia durante el proceso de secado del forraje en el campo puede reducir notablemente la calidad del heno, especialmente en leguminosas. Una lluvia moderada reduce ligeramente los niveles de proteína bruta en alfalfa, pero es mucho mayor la pérdida de digestibilidad; de ahí que la FND y la FAD aumenten considerablemente. En el caso del trébol violeta, la calidad del heno también disminuye. El aparente incremento del porcentaje de proteína bruta se expresa sobre sustancia seca pues una gran parte de constituyentes celulares solubles se pierden con la lluvia. Por ello, la proporción de ADIN (nitrógeno en FAD, por tanto, indigestible) en el heno se incrementa.

La presencia de lluvia durante el proceso de henificación daña sobre todo las hojas. Por ello, el heno de leguminosas es el que experimenta mayores pérdidas. Más del 60% de las pérdidas de materia seca, proteína bruta, minerales y materia seca digestible en alfalfa están ligadas a la fracción hojosa. Los daños causados por la lluvia se incrementan conforme avanza el proceso de secado, siendo especialmente severos cuando esto sucede en forraje listo para ser recogido y empacado.

Del agua de lluvia caída sobre el heno, parte escurre al suelo, parte es retenida en la superficie del forraje, y parte es absorbida por los tejidos vegetales. Esta última es la que más tiempo tarda en evaporarse una vez que las condiciones atmosféricas vuelven a ser favorables.

Cuando empieza a llover, el forraje retiene en su superficie la mayor parte del agua. Únicamente con 1,5 mm de agua caída el forraje puede volver a adquirir la humedad que tenía cuando se segó. Por tanto, cuando el tiempo amenace lluvia, el forraje debe ser acordonado o hilerado, y volteado cuando cese aquélla, una vez que la superficie del cordón se ha secado. No obstante, debe asumirse que cuantos más hilerados y volteados se efectúen, más se reducirá la calidad y cantidad de forraje.

3.4. Crecimiento fúngico

En henos con un nivel de humedad entre el 20 y el 35%, el principal desarrollo microbiano es el de los hongos. Esta actividad fúngica no es deseable por las siguientes razones:

- Los hongos consumen nutrientes, produciendo CO₂ y agua y causando pérdidas de materia seca, de nutrientes digestibles y de energía.
- En estas reacciones químicas donde intervienen se produce calor, algunas veces tan intenso que puede dar lugar a la combustión espontánea del forraje.
- Pueden producir toxinas perjudiciales para el animal y disminuir el nivel de ingestión. Los alimentos enmohecidos tienen elevado contenido

Tabla 1. Pérdidas en la alfalfa durante las operaciones de recolección

Operación	Pérdidas de MS (%)	Pérdidas de hojas (%)
Siega	1	2
Siega/acondicionado		
- guadañadora / rodillos acanalados	2	3
- de discos / rodillos acanalados	3	4
- de discos / acondicionado de mayales	5	5
Rastrillado		
- 70 % humedad	2	2
- 60 % humedad	2	3
- 50 % humedad	3	5
- 33 % humedad	7	12
- 20 % humedad	12	21
Hilerado		
- 70 % humedad	1	2
- 60 % humedad	1	3
- 50 % humedad	3	5
- 33 % humedad	6	12
- 20 % humedad	11	21
Empacado		
- 25 % humedad	3	4
- 20 % humedad	4	6
- 12 % humedad	6	8
Empacado con 18% humedad		
- empacadora convencional	5	8
- rotoempacadora, cámara variable	6	10
- rotoempacadora, cámara fija	13	21
Remolque autocargador	15	24
Total	7-31	12-50
° Necesita aditivo conservante para un almacenamiento seguro		
Fuente: Rotz, 1989		

en estrógenos, que pueden reducir la resistencia del animal a infecciones, en particular mamitis.

- Producen esporas que, si son inhaladas por las personas, pueden causar enfermedades respiratorias.
- La presencia de moho reduce el valor comercial del heno.

3.5. Reacciones de pardeamiento

Las reacciones de pardeamiento (también llamada de caramelización) y las de pardeamiento enzimático (o reacciones de Maillard) se producen si el metabolismo fúngico hace incrementar la temperatura por encima de 100 °C (Foto 1).

En las reacciones de Maillard se combinan los grupos amino de los aminoácidos con los carboxilos de los azúcares reductores formándose compuestos nitrogenados indigestibles, aumentando también la FAD y disminuyendo, por tanto, la digestibilidad del forraje. Si la producción de calor es importante, el aumento de temperatura que se experimenta

Foto 1. Reacciones de pardeamiento por incremento de la temperatura del forraje



Conservación de forrajes (II): Fundamentos de la henificación

Foto 2. Combustión espontánea del heno por elevado aumento de las temperatura



puede originar el incendio del material almacenado (Foto 2).

La tabla 2, muestra los cambios que se producen como resultado del almacenamiento del heno recogido a distintos niveles de humedad.

Por encima del 20% de humedad, las pérdidas de calidad del heno debido al crecimiento de mohos y pardeamiento son mucho más elevadas. La producción de calor también es mayor cuanto más alta es la densidad de las pacas.

Durante su almacenamiento, el heno puede perder agua hasta alcanzar el 8-15 % de humedad, dependiendo de las condiciones ambientales del almacén, o de la propia atmósfera si se almacena a la intemperie. Obviamente, lo más aconsejable es almacenar en el interior de un henil.

Tabla 2. Reacciones de pardeamiento por incremento de la temperatura del forraje (Fuente: R.E.Pitt, 1990).

% humedad del heno	Pérdida MS (%)	Pérdida (%) MS digestible	Pérdida PB (%)	Incremento en PND (%)	Incremento (%) FND/ MS
11-20	5	6	6	1	1
20-25	8	12	9	7	4
25-34	11	14	8	9	5

PND: proteína indigestible. Pérdidas se expresan en términos de porcentaje sobre contenido inicial

Figura 5. Ritmos de secado en forrajes acondicionados y no acondicionados

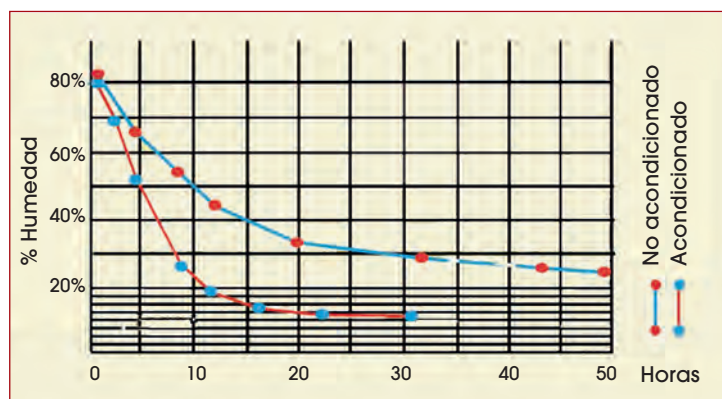
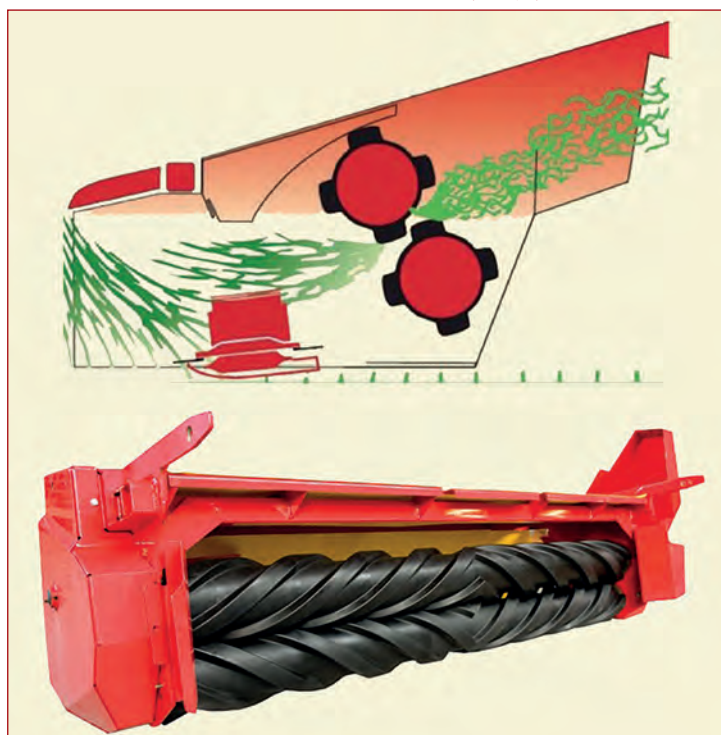


Figura 6. Esquema del acondicionamiento de forraje (arriba). Rodillos acondicionadores (abajo)



4.- Métodos para incrementar la velocidad de secado.

Acondicionado del forraje

Como ya se expuso con anterioridad la pérdida de agua se ralentiza cuando la planta ha perdido alrededor del 30% de su contenido hídrico. En este momento los tallos pierden agua más lentamente que las hojas, dando lugar a una desecación desigual con pérdida en materia seca que incluye muchas hojas, la parte más nutritiva de la planta.

Este problema puede ser obviado por el uso de "acondicionadores" de forraje; máquinas destinadas a romper los tallos de las plantas para facilitar y acelerar su pérdida de humedad. Al mismo tiempo airean el forraje, provocan un aumento de volumen y reducen el tiempo necesario para la henificación alrededor de un 20 % (Figura 5).

El acondicionamiento consiste en hacer pasar el forraje entre dos rodillos acoplados a la segadora (o que forman parte de una máquina diferente, que es lo menos usual) que efectúan su laminado y aplastamiento (rodillos lisos) o lacerado y rotura (rodillos dentados o acanalados) (Figura 6)

Una vez que los tallos se rompen por acción del acondicionador, los tejidos húmedos y blandos de la parte central de aquéllos se secan casi a la misma velocidad que las hojas. El uso de estas máquinas reduce el tiempo de permanencia del forraje en el suelo al incrementar su ritmo de desecación. En consecuencia, la calidad y cantidad del heno "acondicionado" son superiores al del "no acondicionado". Esta operación es especialmente importante en las especies que, como el trébol, tienen hojas finas y tallos gruesos, o en aquéllas en que los tallos son más leñosos y cubiertos de una cutícula cérica que dificulta la pérdida de agua.

Independientemente del uso de acondicionadores, la velocidad de secado puede variar según las condiciones en que queda el forraje extendido sobre el terreno tras su siega. Así, durante el día, conviene que el forraje no forme cordones demasiado compactos porque ello dificulta la acción desecante de los agentes naturales (sol y viento). (Figuras 7 y 8).

Los efectos de las diversas operaciones mecánicas, de la humedad del forraje y, de los factores

ambientales sobre la velocidad del secado, pueden expresarse mediante la ecuación siguiente:

$$TAP = FCM \times HRF \times TEP$$

TAP = tasa de agua perdida en el cordón del forraje

FCM = factor cultivo/manejo

HRF = humedad remanente del forraje

TEP = tasa de evaporación potencial

La humedad remanente en el forraje describe la cantidad de agua presente en éste que puede ser evaporada. La tasa de evaporación potencial, dependiente de las características climáticas de la zona, indica el ritmo de evaporación del agua. El tipo de planta y su madurez al momento de la siega, su rendimiento productivo, la anchura del cordón formado tras la siega y las distintas operaciones mecánicas, determinan el factor cultivo/manejo. Si el proceso de henificación es deficiente, el heno está seco, o el aire es húmedo, la pérdida de agua es mínima.

De la ecuación descrita, se puede determinar la tasa de evaporación potencial (TEP), expresada en mm de agua, que se requiere para llevar la humedad del forraje del 80 % al 20 % necesario para empacar. TEP es una medida del "potencial secador" del ambiente que se necesita a lo largo del proceso.

La figura 9 muestra que la TEP depende del rendimiento del cultivo en el momento en que es segado y de la densidad del cordón que se forma. Un cordón estrecho, alto y compacto incrementa la TEP porque hay una menor superficie de forraje expuesta, lo que reduce la velocidad de secado. Por la misma razón, un mayor rendimiento también aumenta la TEP. Un cordón ancho y poco espeso reduce la TEP y acorta sustancialmente la permanencia del forraje en el campo.

Para calcular el tiempo medio de secado (en días) se puede utilizar la figura 9 citada. Para ello, se divide la TEP (eje vertical) entre la TEP diaria (en mm/día), la cual viene dada en tablas específicas. Por ejemplo, si en una determinada zona la TEP diaria es de 5,4 mm, para un forraje completamente extendido en el suelo (factor = 1,0), con un rendimiento de 3,7 ton de heno/ha, la figura 9 muestra un tiempo medio de secado de $10/5,4 = 1,9$ días. Sin embargo, si el forraje queda acordonado tras la siega (factor: 0,5), el tiempo medio de secado se incrementa a $15/5,4 = 2,8$ días. Ello demuestra la importancia de extender el forraje cuando las condiciones atmosféricas son favorables. Si el rendimiento es mayor (5.000 kg/Ha), el tiempo de secado se incrementa a 2,3 y 3,3 días, respectivamente, para los dos factores de anchura considerados.

Resumen

En esta segunda entrega de conservación de forrajes hemos abordado los fundamentos del método de la henificación, destacando la importancia de reducir rápidamente la humedad del forraje segado para que los procesos que conducen a pérdidas de valor nutritivo se interrumpan lo antes posible. Esta rápida pérdida de agua se consigue por medios naturales (por tanto, no controlables) en días soleados, con viento y baja humedad relativa. El acondicionamiento de forraje, que rompe los tallos y acelera la pérdida de agua por la planta, contribuye enormemente a alcanzar el objetivo.

Figura 7. Dinámica de secado en un forraje acondicionado (Mickan y Plitz, 2003)

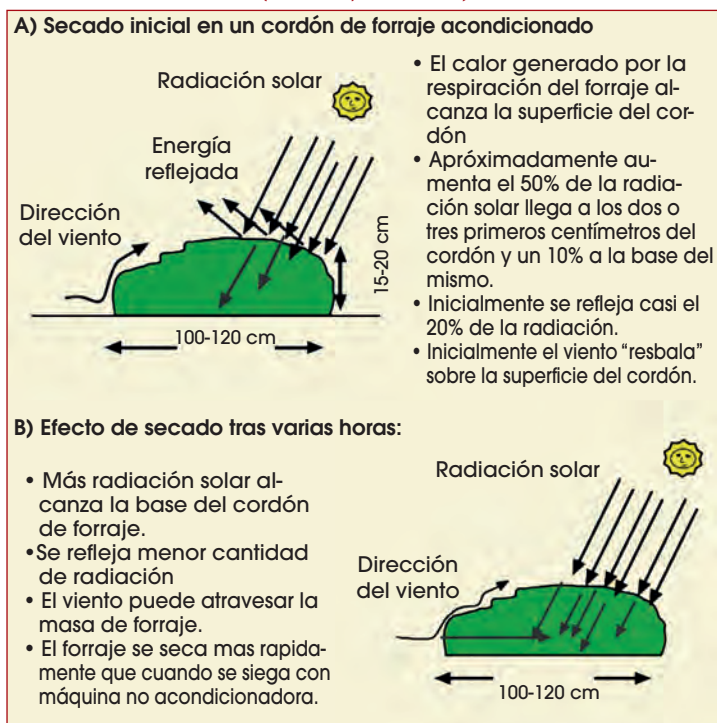


Figura 8. Efecto de la anchura del cordón sobre la captación de radiación solar y velocidad de secado (Mickan y Plitz, 2003)

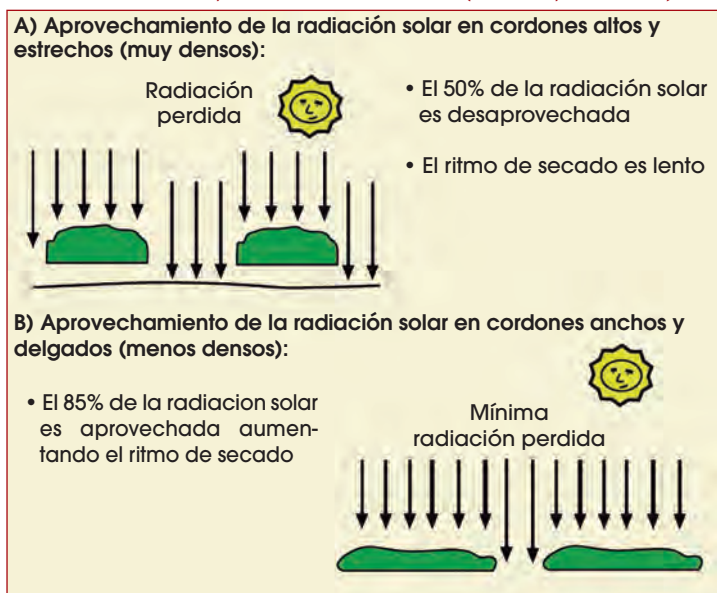


Figura 9. Evaporación total necesaria para secar alfalfa desde el 80% hasta el 20% de humedad en función del rendimiento del cultivo y de la anchura del cordón.

