

IX. BASES DEL PROCESO FERMENTATIVO

René Enrique G.

A. ROL DE LOS MICROORGANISMOS

Los microorganismos que intervienen en la fermentación son predominantemente bacterias, de una gran diversidad, y el dominio de una u otra clase depende principalmente del tipo de forraje y las condiciones del ensilado. Cada clase de microorganismos tiene un ambiente óptimo para actuar y si éste no se da, entran a predominar otros, influyendo en las características y calidad del ensilaje.

El forraje en forma natural tiene una cantidad de bacterias, que aumenta fuertemente durante el corte, habiéndose determinado que pueden aumentar hasta diez veces su número (10.000 a 100.000 unidades formadoras de colonias; UFC/g). Si se inoculan bacterias (aditivos inoculantes), éstas deben competir con las bacterias naturales y dominar en el medio, por lo que deben ser vigorosas y aplicadas en concentraciones por lo menos igual a la existente en el forraje.

1) Bacterias ácido lácticas o fermentadores primarios.

Estas bacterias se dividen a la vez en las dos categorías siguientes:

- Bacterias productoras sólo de ácido láctico (homolácticas)
- Bacterias generadoras de una diversidad de productos, además de ácido láctico (heterolácticas) tales como ácido acético, alcoholes y gases (CO₂).

Las bacterias homolácticas son las más deseables, debido a que el ácido láctico tiene mayor valor preservante (ácido más fuerte) y la transformación de los azúcares en ácido ocurre con un mínimo de pérdidas de MS y energía.

Lo común es que predominen las bacterias heterolácticas a menos que se den condiciones especiales para la fermentación homoláctica, como acidificación inicial rápida, o uso de inoculantes entre otros.

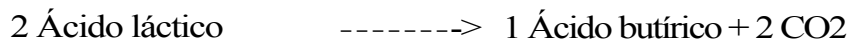
Las bacterias ácido lácticas no tienen un rol importante en la destrucción de proteínas. Crecen bien a temperaturas inferiores a 40°C (10-40°C), con óptimos entre 20 y 30°C, indicando la conveniencia de evitar calentamientos del forraje. También poseen la capacidad de desarrollarse en presencia de oxígeno.

Las bacterias ácido lácticas también fermentan ácidos orgánicos del forraje transformándolos en ácido láctico, alcoholes o ácido acético. De este modo, el favorecer la actividad de bacterias acidolácticas, atenúa el efecto negativo de los ácidos orgánicos, que aumentan la capacidad buffer o tampón.

2) Bacterias clostridiales o fermentadores secundarios

Los clostridios (gran cantidad de especies), son anaerobios estrictos y los principales responsables de las fermentaciones secundarias (fermentadores de a.láctico), y la destrucción de proteínas (fermentadores de aminoácidos).

Fermentación secundaria es la transformación de los productos de la fermentación primaria, como el ácido láctico, en productos de menor valor preservante, principalmente ácido butírico (ácido débil), proceso que está asociado con fuertes pérdidas de la MS y energía de los productos primarios.



(50% de pérdida de la MS y 20 % de la Energía)

Un buen ensilado no debiera permitir fermentaciones secundarias, y este logro permite la obtención de ensilajes de buena calidad fermentativa.

Control de la actividad de clostridios

Las siguientes medidas se consideran efectivas para el control de clostridios:

Disminuir la contaminación con tierra y fecas (presencia es muy baja en la planta).

Favorecer una acidificación rápida e intensa ya que son poco resistentes a ella. Una acidificación lenta (por forrajes con capacidad de amortiguar acidificación, capacidad tampón alta), o escasa disponibilidad de azúcares, favorece la actividad clostridial. Un agotamiento prematuro de los azúcares en etapas iniciales del ensilado, favorecerá la actividad clostridial.

La humedad alta permite mayor tolerancia a la acidez por los clostridios (rol del premarchitamiento). Con MS bajas (15%), pueden tolerar bastante acidez (pH 4), aunque el óptimo para su desarrollo sea más alto (pH 7-7,4).

Estos aspectos son importantes en ensilajes de leguminosas que poseen bajo contenido de azúcares y alta capacidad tampón, especialmente al ser ensilados en forma directa.

Los clostridios son también más resistentes al calentamiento del forraje tolerando temperaturas que pueden estar 20° C por encima de la deseable para bacterias ácido lácticas.

3) Otros microorganismos

Enterobacterias o Coliformes

Su habitat normal es el sistema digestivo de animales. Se desarrollan a pH más bien altos (+ pH 7) y temperaturas inferiores a 40°C. Su actividad puede ser importante en las primeras etapas de fermentación del ensilaje, produciendo principalmente ácido acético y alcoholes.

Su importancia es menor a la de los clostridios, aún en forrajes abonados con purines.

Hongos

Incluye principalmente a las levaduras (unicelulares), y a hongos propiamente tales (colonias multicelulares filamentosas), que son abundantes en el suelo, forraje y agua y que en su mayoría requieren de la presencia de aire (aerobios). Las levaduras son muy resistentes a la acidez, por lo que pueden desarrollarse si ingresa aire al silo, aún en ensilajes muy bien acidificados lo que se conoce como deterioro aeróbico.

Algunas especies pueden fermentar azúcares residuales (ensilajes premarchitos, ensilajes de maíz), y también ácido láctico, almidón, ácidos orgánicos y otros. También pueden actuar durante la fermentación si hay presencia de aire, compitiendo con las bacterias ácido lácticas. El producto final es alcohol (etanol y otros), que tiene muy poco valor preservante.

Los hongos se encuentran principalmente en la superficie donde hay más exposición al aire. No sólo usan ácido láctico y azúcares, sino que degradan fibra (pared celular), y producen toxinas peligrosas para la salud de los animales.

El resultado de estos procesos de degradación aeróbica es una subida del pH (disminución de la acidez), que favorece aún más el deterioro del ensilaje, las pérdidas de valor nutritivo y de MS.

B. CAMBIOS EN EL FORRAJE

Para analizar los cambios que operan en el forraje, el proceso de ensilado se puede separar en las siguientes etapas:

- Entre cosecha e inicio de la fermentación.
- Durante la fermentación en el silo.
- Luego de abierto (fase de utilización).

Los procesos mas importantes involucrados en las diferentes etapas son los siguientes:

RESPIRACIÓN

Tiene la mayor importancia en la primera etapa, que es donde la planta permanece viva y en contacto con el aire, lo que activa las enzimas de la planta.

En este proceso hay consumo de azúcares, con desprendimiento de calor, agua y CO₂, siendo este último el responsable de las pérdidas de materia seca (MS). Si el consumo de azucares aumenta más de lo deseable, disminuye su disponibilidad para la fermentación en el silo, con lo que se limita la producción de ácidos (principalmente a.láctico) y la calidad fermentativa.

Las posibilidades de controlar las pérdidas respiratorias son la siguientes:

1. Aumentando rápidamente el contenido de MS de forraje (premarchitamiento en buenas condiciones climáticas). La respiración disminuye efectivamente si hay una deshidratación rápida, con lo cual se logra concentrar azúcares en la planta, lo que es una ventaja adicional. Condiciones climáticas adversas como humedecimiento por rocío, lluvia, poco sol y viento, favorecen pérdidas por respiración y lavado de nutrientes.
2. Favoreciendo la acumulación de CO₂. El CO₂ que se produce en la respiración y en la fermentación, inhibe la respiración si se acumula en el silo. Este efecto es usado en almacenamiento de frutas y hortalizas con atmósfera enriquecida en CO₂.

Como medio de inhibir la respiración, sólo posee importancia práctica durante el llenado del silo, especialmente el suspender la faena por las noches y colocar cobertura con polietileno.

3. Favoreciendo la acidificación. La respiración se ve fuertemente inhibida por aumento de la acidez, lo que hace necesario lograr una rápida acidificación inicial (rol de aditivos).

4. Rotura del tejido. La rotura del tejido por acción de la maquinaria, aumenta la intensidad de la respiración, alcanzando el máximo en aproximadamente dos días, para luego bajar a niveles normales. Por esto, es conveniente que el tamaño de picado guarde relación con el contenido de MS del forraje, por su amplia influencia en la respiración, proteolisis y en la producción de efluentes.

Cuadro 1. Tamaño de picado apropiado según el contenido de MS del forraje.

% MS de Forraje	Tamaño deseable de picado (mm)
Menos de 20	15-20
20-25	10-15
25-30	5-7
Más de 30	2-5

5. Usando aditivos inhibidores, especialmente del tipo ácido, que disminuyen la respiración, para lo cual sólo son efectivos si se aplican a través de la maquinaria.

DESTRUCCIÓN DE PROTEÍNAS (PROTEOLISIS)

Los cambios en la proteína durante el ensilado representan uno de los principales deterioros de calidad comparado con el forraje original y se pueden resumir a dos niveles:

1. Acción de la enzimas de la planta

Proceso más benigno y que tiene importancia en las primeras etapas de ensilado con la planta aún viva.

Consiste en la ruptura de las proteínas en fragmentos más pequeños (péptidos y aminoácidos). Las enzimas tienen un óptimo para actuar entre pH 5-6, lo que aconseja una acidificación rápida como una manera efectiva de atenuar estos cambios, aunque no se pueden suprimir totalmente.

2. Acción de enzimas de los microorganismos

Principalmente tiene importancia durante la fermentación, si las condiciones permiten la actividad de CLOSTRIDIOS, que a este respecto son los más activos. Representa un grado de destrucción más avanzado a derivados amoniacaes, que se puede y debe minimizar, siendo muy difícil eliminarlo del todo.

Como resultado es inevitable que se produzca un aumento del nitrógeno no proteico (NNP), a expensas de la proteína verdadera, proceso que aumenta si hay actividad clostridial (a lo menos 50% del N total está como NNP en ensilajes).

PROTEINA Nivel 1 Nivel 2 *
 ----> Fragmentos de -----> Amoniac
 prot. aminoácidos Aminas

* Asociado con pérdida de MS y Energía como CO₂, formación de ácidos débiles, pérdida de N, valor nutricional y palatabilidad (consumo).

NNP: conjunto de compuestos nitrogenados más pequeños que la proteína (péptidos, aminoácidos, N amoniacal que son muy solubles y menos aprovechables en el rumen).

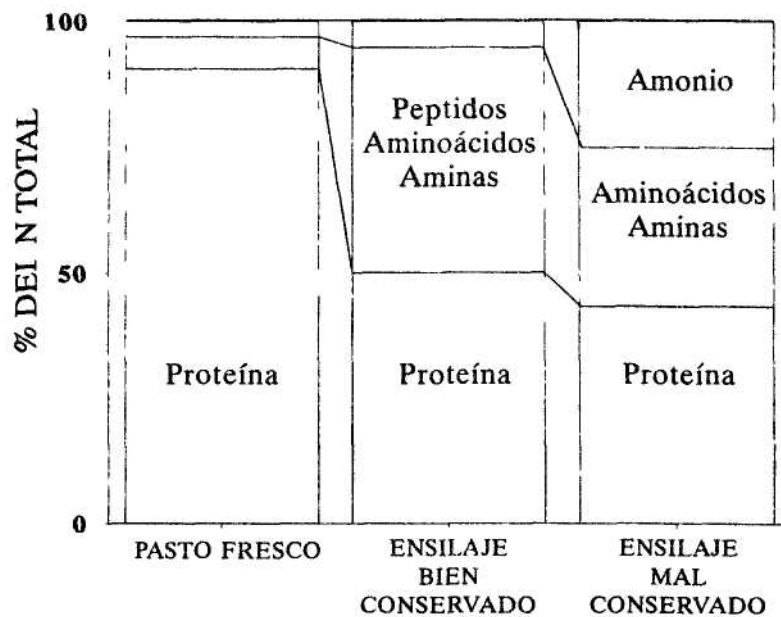


Figura 1. COMPONENTES NITROGENADOS EN FORRAJE VERDE Y ENSILAJES BIEN Y MAL CONSERVADOS (Forraje de gramíneas)

Es por ello que un indicador de destrucción avanzada de proteínas es el contenido de N amoniacal (NNH₃), como se indica en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Relación entre el contenido de N amoniacal y la calidad fermentativa de ensilajes.

N-NH ₃ % N total	Calidad Fermentativa
- 5	Excelente
5-10	Bueno
10-15	Regular
+ 15	Malo

Altos niveles asociados a menor consumo
Wilkinson (1985).

Fermentación de Azúcares

La fermentación de los azúcares representa el principal proceso, que permite lograr la acidificación del forraje. Este proceso ha sido explicado al referirnos a la actividad de los microorganismos.

El objetivo principal que se persigue, es posibilitar un predominio de la fermentación láctica, con baja producción de otros ácidos y alcoholes (efecto permite a la vez menor proteolisis).

Es inevitable que al tratar de compatibilizar calidad fermentativa y valor nutricional sea necesario conservar forrajes tiernos. El puede significar mayores dificultades para lograr una alta calidad fermentativa, calidad que cobra mayor importancia mientras mayor es la dependencia por el ensilaje en la ración. La suplementación atenúa las diferencias entre ensilajes debidas a calidad fermentativa.

OTRAS TRANSFORMACIONES

En ensilajes bien confeccionados, hay cierta destrucción de carotenos (provitamina A), que alcanza aproximadamente 30 %, y se considera menor que al henificar.

El contenido de carotenos es alto aunque varía ampliamente (120-690 mg/kg MS) en el forraje verde. Si se considera que una vaca que produce 25 l tiene un requerimiento diario de 130 mg de Carotenos, la pérdida indicada tiene poca significación nutricional. Este requerimiento se cubre fácilmente con una ingestión de 8 kg MS (40 kg ensilaje), con solamente 30 mg/MS de carotenos, cantidad que es baja para ensilajes bien confeccionados (Ver cuadro 3).

Cuadro 3. Contenido de carotenos en ensilajes

Ensilaje	CAROTENOS mg/kg MS
Alfalfa premarchita	60
Maíz	45
	43
Avena, espigadura	45
Avena, planta tierna	147
Sorgo	36
Pradera tierna	90

1 mg Caroteno=400 UI VitA
 Requerimiento lactancia 3200 UI/kg MS
 130 mg/día en vaca de 25 lt.

También se debe considerar que la destrucción puede ser mucho mayor a la indicada si ha habido calentamiento excesivo del forraje. En general, se puede sospechar de una destrucción importante si hay pérdida del color verde o el ensilaje es de tonalidades pardas, que reflejan que hubo calentamiento.

C. CAMBIOS DE COMPOSICIÓN POR EL ENSILADO

El ensilado produce cambios importantes en la composición, si se compara con el forraje original. Algunos de estos aspectos se analizarán a continuación para los principales componentes del forraje.

CONTENIDO DE MS

A pesar del escurrimiento de líquidos, el ensilaje tiene un similar o menor contenido de MS que el forraje original (Figura 2). Este efecto es aparente, debido a que hay una cantidad importante de compuestos volátiles que se pierden en el secado que se realiza en horno de aire forzado. La pérdida por volatilización es mayor en ensilajes directos, que han experimentado una fermentación más extensa que los premarchitos y que tienen más compuestos volátiles.

Determinaciones realizadas en la UACH con ensilajes directos indican que base fresca (MS determinada por tolueno), tienen en promedio 3,5 unidades porcentuales más de MS que por secado en horno de aire forzado.

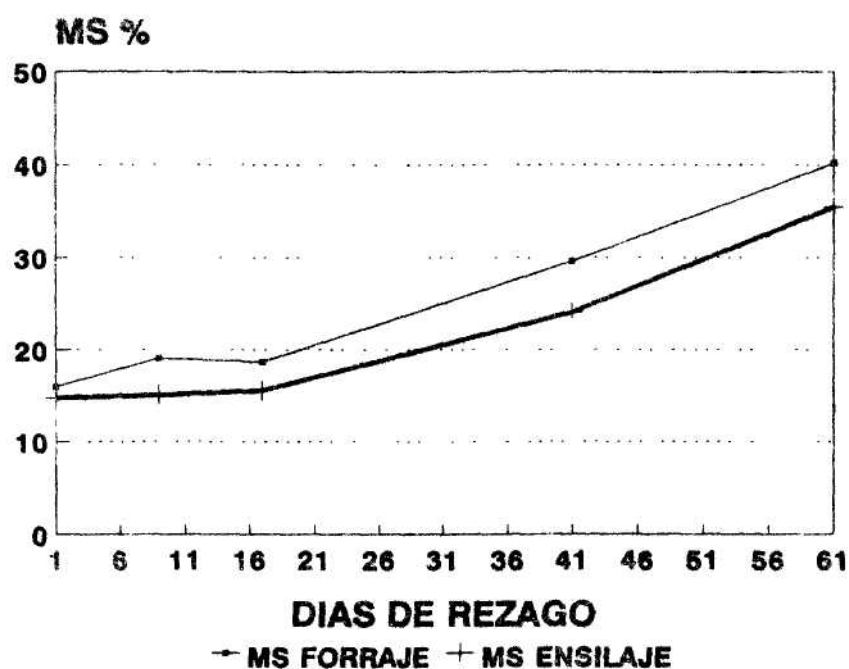


Figura 2. CONTENIDO DE MS EN FORRAJE Y ENSILAJE

Fuente : Scholz, 1988

En el cuadro 4 se aprecia que el contenido promedio de MS de ensilajes directos y de mayor contenido proteico (forraje más tierno) en la Zona Sur, fluctúa entre 18 y 20 %. Mayores contenidos de MS se encuentran en los ensilajes que predominan (- 11% PC), que se debe a la cosecha de forrajes en estado más maduro, con las limitaciones de valor productivo que ello implica.

Cuadro 4. Contenido de MS de ensilajes de la zona sur.

ENSILAJE	% del total	% MS	% Prot.
Alfalfa directo	50	19.2	20.3
Alfalfa prem.	50	33.3	20.9
Avena - 11% PC	86	23.9	7.7
Avena + 11% PC	14	17.9	14.1
Pradera dir. -11% PC	50	22.1	9.2
Pradera dir. 11-13% PC	35	19,8	12.3
Pradera dir + 13% PC	15	20.0	15.9

660 ensilajes de productores.
(Anrique, 1994. No publicado)

CONTENIDO DE FIBRA

El ensilaje es más fibroso que el forraje original y la fibra es a la vez de diferente composición, con más celulosa y lignina por una pérdida de parte de la hemicelulosa. El aumento en la fibra es más marcado en ensilajes directos que en premarchitos ya que fermentan más extensamente (Cuadro 5).

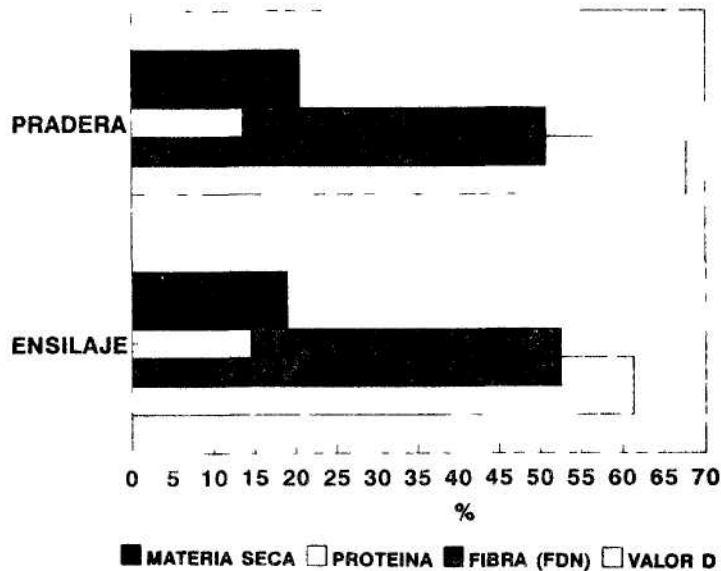


Figura 3. COMPOSICION DE LA PRADERA ANTES Y DESPUES DE ENSILADA

Fuente: Rosales, 1991

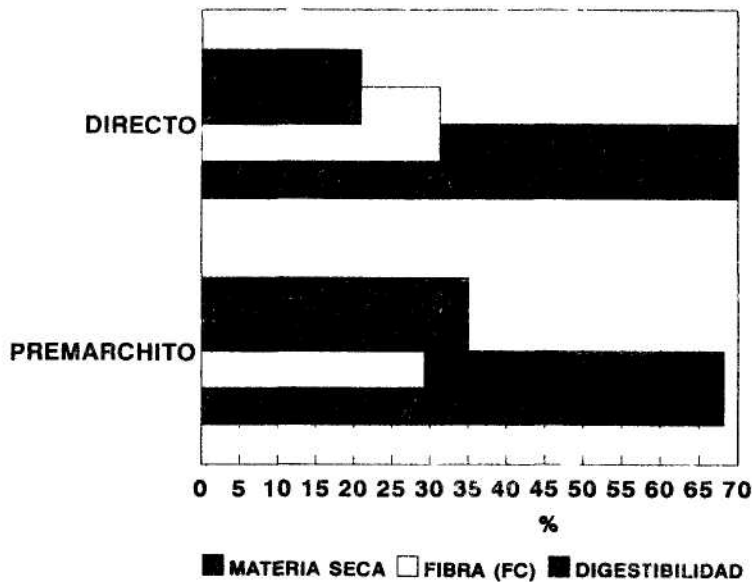


Figura 4 COMPOSICION DE ENSILAJES DIRECTOS Y PREMARCHITOS

Fuente: Thomas y Thomas, 1985

Esta situación influye en una entrega de energía más lenta en el rumen, y es la principal razón que explica el bajo valor nutricional y productivo de la mayoría de los ensilajes cuando se suministran como único alimento (Figura 5).

CAMBIOS EN LA PROTEÍNA

La fracción proteica representa el conjunto de compuestos nitrogenados, entre los cuales predomina la proteína verdadera como se explicara anteriormente. Los cambios son muy notorios en ensilajes debido a que gran parte de ésta queda transformada en compuestos que en el rumen no son bien aprovechados (NNP) debido a una degradación demasiado rápida.

Sin embargo, la cantidad de proteína cruda puede incluso aumentar levemente, por efecto de pérdidas de carbohidratos en la forma de gases principalmente, y en los líquidos de escurrido.

Cuadro 5. Cambios en la composición por el ensilado.

Componente			Forraje original	Ensilaje
Materia	seca	%	20.5	18.9 (21.8)*
Proteína	cruda	%	13.6	14.5
Fibra	(FDN)	%	50.7	52.5
Energía (EM)		Mcal/kg	2.48	2.27

* Corregido por pérdidas volátiles (MS Tolueno) Rosales (1993) .

Las consecuencias de estas transformaciones en el aprovechamiento del ensilaje son las siguientes:

- Menor energía para los microorganismos ruminales.
- Pérdida de proteína como amoniaco (transformaciones que terminan en eliminación de urea por la orina.
- Menor consumo y valor productivo principalmente al ser suministrado sin suplementación.

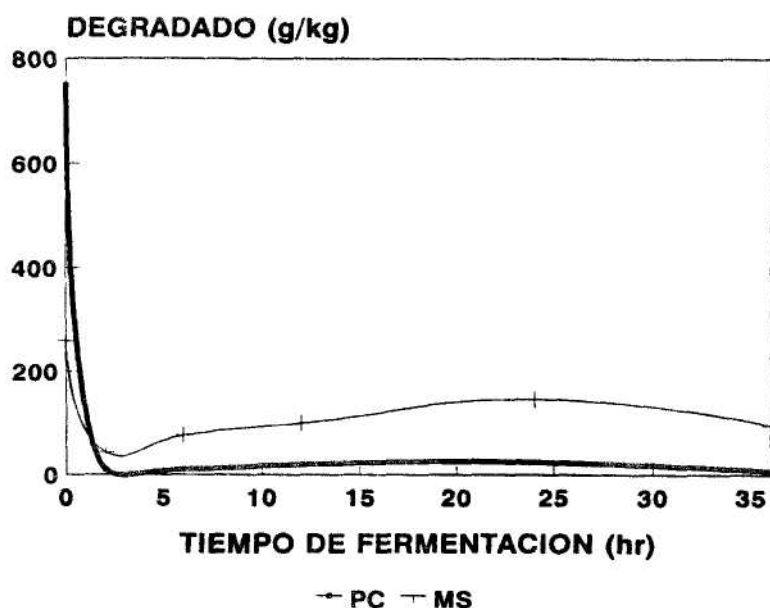


Figura 5. DEGRADACIÓN RUMINAL DE LA PROTEÍNA Y MATERIA SECA EN ENSÍLATE

Fuente Anrique y Valderrama, 1993

D. CARACTERÍSTICAS DEL FORRAJE A ENSILAR

1. CONTENIDO DE MATERIA SECA

Si se cosechan forrajes en estados de alta digestibilidad (D 65-70 %) inevitablemente el contenido de MS será menor que 20% (Figura 6); siendo la única posibilidad efectiva de aumentarlo, recurrir al premarchitamiento del forraje. La conveniencia de esta técnica será discutida en otro capítulo de este seminario.

2. CONTENIDO DE AZÚCARES

La cantidad mínima de azúcares necesaria para garantizar una buena fermentación es de 3-4 % base fresca, cantidad que está influenciada por factores que se discutirán a continuación:

1. Especie forrajera

Existen importantes diferencias entre familias de especies forrajeras. Las gramíneas tienen más azúcares que las leguminosas existiendo también diferencias entre especies. En general el maíz y las ballicas son más ricas en azúcares y el pasto ovillo es más pobre, lo que indudablemente estará modificado por la fertilización y el clima. Las leguminosas, debido a una inherente mayor capacidad tampón, requieren de un mayor contenido de azúcares para lograr un pH estable (Cuadro 6).

Cuadro 6. Contenido mínimo de azúcares (carbohidratos solubles) para alcanzar un pH estable.

MS	LEGUMINOSAS % base fresca	GRAMÍNEAS
20	5.2	3.8
25	5.2	3.5
45 *	3.2	1.4
50 *	3.0	1.0

* Henilajes

Fuente : Pitt y Sniffen (1985)

2. Estado de madurez de la planta

La concentración de azúcares tiende a ser mayor en período de la emergencia de espiga y tiende a reducirse con la madurez avanzada (Figura 6).

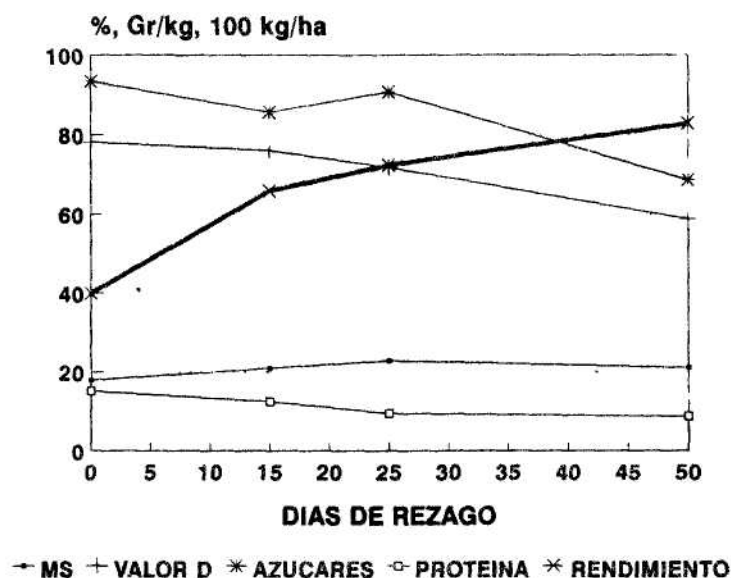


Figura 6. DÍAS DE REZAGO Y COMPOSICIÓN DE LA PRADERA

Fuente • Jurgensen y Balocchi, 1991

3. Hora del día y clima

En los horarios de mayor iluminación el contenido de azúcares es más alto, lo que hace aconsejable en lo posible efectuar el corte en los horarios de mayor irradiación solar. Esto es particularmente importante cuando se efectúa premarchitamiento del forraje (Figura 7). Estos efectos son también proyectables a primaveras poco soleadas o crecimiento otoñal, que estará asociado con menores contenidos de azúcares.

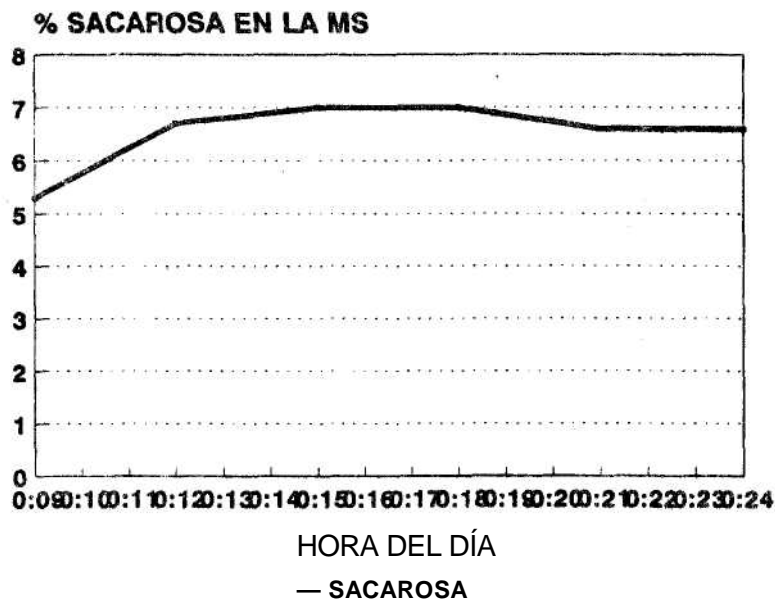


Figura 7. HORA DEL DÍA Y CONTENIDO DE AZUCARES EN EL FORRAJE

Fuente : Balocchi y López, 1991

4. Fertilización nitrogenada

Afecta principalmente a gramíneas y normalmente acompañada de un aumento del contenido de ácidos orgánicos y de la proteína lo cual favorece una mayor capacidad tampón y destrucción de proteínas.

CAPACIDAD TAMPON (CAPACIDAD BUFFER)

Representa la propiedad de ciertos forrajes de resistir la acidificación, por reacciones químicas que se producen durante la fermentación. Depende del contenido de ácidos orgánicos y de proteína principalmente. Como estos componentes están en mayor cantidad en estados más tiernos de la planta, se hace más dificultosa la fermentación en estos estados. Sin embargo, a menos que exista una alta fertilización nitrogenada, éste debiera ser un problema menor al ensilar gramíneas que leguminosas, que poseen una mayor capacidad buffer (Figuras 8 y 9).

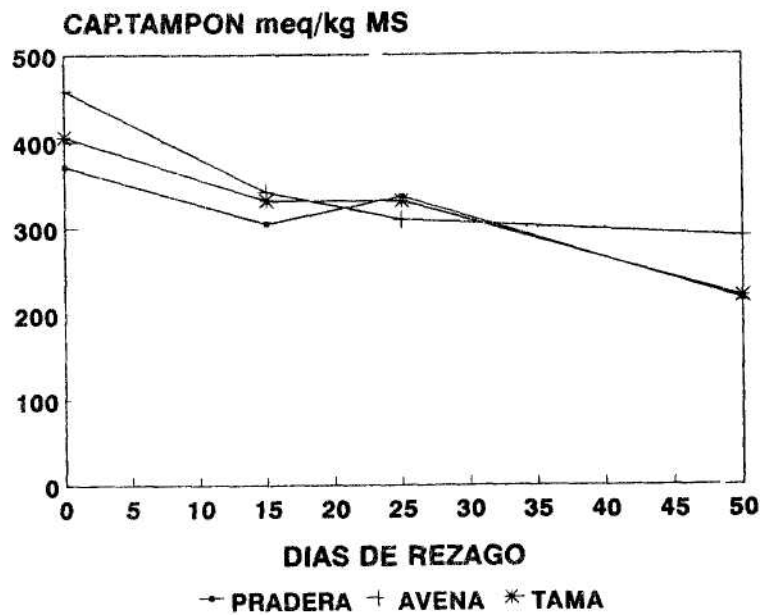


Figura 8. TIEMPO DE REZAGO Y CAPACIDAD TAMPON EN FORRAJES VERDES

Fuente : Jurgensen y Balocchi, 1991

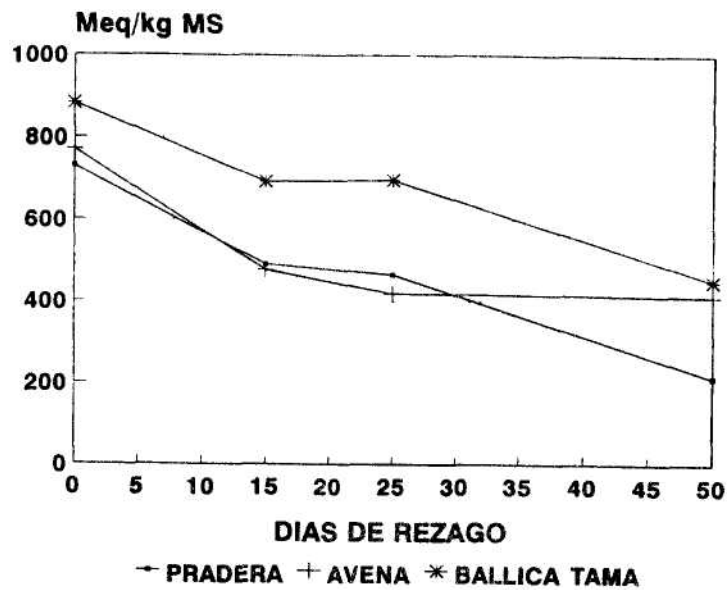


Figura 9. TIEMPO DE REZAGO Y CONTENIDO DE ACIDOS ORGANICOS EN PRADERA

Fuente Jurgensen y Balocchi, 1991

Es claro que forrajes con más materia seca requerirán menos azúcares debido a que la fermentación se reduce proporcionalmente al aumentar el contenido de materia seca. Es así como también será menor el nivel de acidez final en ensilajes premarchitos comparados con ensilajes directos.

CONCLUSIONES

Del presente trabajo se puede concluir lo siguiente :

El ensilado es un proceso de conservación que produce cambios profundos al forraje original, y que son mayores a los detectados por los sistemas de análisis convencionales.

Estos cambios significan en general :

- a) Desmejoramiento de las características nutricionales del forraje original.
- b) Comprensión por el productor de estos cambios y de los factores que los determinan.
- c) Contribuyen a conducir el proceso de conservación, de tal modo de minimizar los aspectos desfavorables.

Es importante que los productores se motiven y puedan mejorar cada vez más la confección de ensilajes.

LITERATURA CITADA

- JURGENSEN, E.(1991). Composición química y aptitud fermentativa de cuatro recursos forrajeros en cuatro estados fenológicos. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Austral de Chile. Valdivia.
- PITT, E. y C. SNIFFEN. (1989). Silage Inoculants. Extensión Bulletin 452. Cornell University.
- ROSALES, M.B. (1991). Evaluación del aditivo biológico Forager en ensilajes de pradera permanente y pastura de alfalfa. Tesis. Ing. Agrónomo. Instituto de Producción Animal/ Universidad Austral de Chile. Valdivia.
- SCHOLZ, B.A. (1988). Efecto del estado fenológico sobre el rendimiento, calidad nutritiva y aptitud para ensilaje de una pradera mixta de ballica inglesa y trébol blanco. Tesis. Ing. Agrónomo. Instituto de Producción Animal, Universidad Austral de Chile. Valdivia.
- THOMAS, C. y P. THOMAS. (1985), citado por Anrique R.1987. Ensilado por corte directo y premarchitamiento. Ed. L. Latrille y O. Balocchi. In: Conservación de Forrajes. Instituto de Producción Animal, U. Austral de Chile. Serie B-12.
- WILKINSON, M. (1985). Beef production from silage and other conserved forages. Longman Handbooks in Agricultura. 140 p.