

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

Leonardo Sánchez Matta<sup>1</sup>

## ABSTRACT

**Title: Modern strategies for conserving forage in tropical bovine production systems**

Colombian bovine production systems basically employ grazing on pasture forage since as this is an economic system involving little manual labour. However, dependence on pasture for grazing carries with it the disadvantages of the effects of climatic variation and a particular soil's physical and chemical conditions. Significant reductions in the availability and quality of forage thus occur during the dry season, an effect known as the 'seasonal nature of fodder', leading to reducing animal load, production levels and animal growth rates. Conversely, there is a surplus of forage during the rainy season which is not preserved or is offered in an advanced state of maturity; this also affects its nutritional quality and therefore productivity. Some progress has been made in the practice of conserving forage; however, such processes must be intensified and alternatives developed using drought-resistant materials, thereby counteracting the seasonal effects determined by climatic variation. Current strategies and/or technologies must thus be reviewed as they have a direct effect on the process and/or type of fermentation leading to maintaining and/or improving product quality or ensuring that it is preserved for ensuring high levels of consumption and animal productivity.

*Key words:* bovine grazing, summer, pasture, silage, tropical dairy farming.

## Estrategias modernas para la conservación de forrajes en sistemas de producción bovina tropical

## RESUMEN

Los sistemas de producción bovina en Colombia emplean el pastoreo de especies forrajeras para la alimentación básicamente porque este sistema demanda menor uso de mano de obra. No obstante, la dependencia de las praderas de pastoreo tiene como desventajas los efectos de las variaciones climáticas y las condiciones químicas y físicas del suelo que ocasionan considerables reducciones en la disponibilidad y calidad nutricional del forraje; este efecto se denomina 'estacionalidad forrajera' y acompaña las épocas secas, lo cual impacta negativamente las tasas de crecimiento animal y su producción, además de reducir la carga animal. Por otra parte, durante las épocas de lluvias se presentan excedentes de forrajes que no se conservan o se ofrecen en estados avanzados de madurez, lo que afecta su calidad nutricional y la productividad. Si bien ha habido avances en las prácticas de conservación de forrajes, es necesario intensificar estos procesos así como desarrollar otras alternativas, como los forrajes resistentes a la sequía, para enfrentar los efectos adversos de la estacionalidad. En este artículo se revisan algunas estrategias y tecnologías disponibles para optimizar los procesos fermentativos que aseguren la calidad del producto ensilado, altos niveles de consumo y una alta productividad animal.

*Palabras clave:* pastoreo bovino, verano, pastos, ensilaje, lechería tropical.

## INTRODUCCIÓN

LA ALIMENTACIÓN BÁSICA en los sistemas de producción bovina en Colombia está constituida por forrajes de pastoreo, ya que representan una práctica económica con baja utilización de mano de obra. Sin embargo, la dependencia del pastoreo tiene como desventajas los efectos de las variaciones climáticas, así como de las condiciones físicas y químicas del suelo. De esta manera, durante las épocas secas se presentan disminuciones importantes en la disponibilidad y calidad del forraje, efecto denominado 'estacionalidad forrajera', que reduce la carga animal, los niveles productivos y las tasas de crecimiento; por otra parte, durante las épocas de lluvias se presentan excedentes de forraje que no son conservados y se ofrecen en avanzado estado de madurez, lo que afecta su calidad nutricional, y en consecuencia, la productividad de la explotación (Sánchez, 2004).

En algunos sistemas de lechería especializada se incluyen niveles importantes de suplementos, principalmente concentrados, para obtener los altos niveles productivos de las razas utilizadas; no obstante, a pesar de los progresos en las prácticas de conservación de forra-

jes, estos procesos se deben intensificar, así como desarrollar otras alternativas viables, como por ejemplo el uso de forrajes resistentes a la sequía, a fin de contrarrestar la estacionalidad derivada de las variaciones climáticas (Cottrino *et al.*, 2002) (Figura 1).

Aunque se dispone de diferentes tecnologías de conservación para atenuar los efectos negativos de la estacionalidad forrajera, predomina el proceso de ensilaje por la facilidad de realizarlo en cualquier época del año y por su baja demanda en infraestructura (Sánchez, 2000). Sin embargo, todavía se presentan



**Figura 1.** Vacas Jersey y Holstein en semiestabulación consumiendo ensilaje de avena y afrecho de cerveza.

Recibido: febrero 25 de 2005.  
Aceptado: mayo 2 de 2005.

1. M.V.Z., Ph.D. Investigador, Programa de Fisiología y Nutrición Animal. CORPOICA, C.I. Tibaitatá, Mosquera. e-mail: lsanchez@corpoica.org.co



**Figura 2.** Ensilaje de maíz suministrado en comedero.

dificultades para su implementación en las fincas y su inclusión en las dietas (Sánchez, 2002), especialmente por las características específicas de los forrajes tropicales disponibles para el proceso, los cuales presentan altos niveles de pared celular y deficiencias de los nutrientes necesarios para una fermentación óptima que pueden disminuir la calidad nutricional y el consumo voluntario del producto obtenido.

La disponibilidad relativa de maquinaria para el proceso de henolaje (ensilaje con presecado del forraje) ha promocionado e incrementado el nivel de conservación de forrajes en diferentes zonas del país; sin embargo, todavía se presentan deficiencias en el proceso y en el manejo de los fardos, y continúa el déficit de conservación a nivel nacional. Por su parte, la maquinaria necesaria para el proceso de ensilaje tradicional o húmedo no ha tenido una renovación similar y, en la mayoría de explotaciones, no garantiza un tamaño de partícula apropiado ni la eficiencia de llenado (de bolsas, fardos o silos); finalmente, la calidad del producto obtenido recibe poca atención y, en la mayoría de casos, el ensilaje es suministrado solo sin un adecuado balanceo de la dieta.

En estas circunstancias se hace necesaria la revisión de las estrategias y tecnologías actuales de conservación de forrajes, en especial aquellas que tengan efectos directos sobre el proceso y el tipo

de tipo de fermentación, de manera que permitan mejorar la calidad del producto que se está conservando para asegurar altos niveles de consumo y productividad animal.

#### Proceso de ensilaje

El ensilaje es un método de conservación de pastos y forrajes basado en la fermentación anaeróbica de la masa forrajera que permite mantener durante periodos prolongados de tiempo la calidad que tenía el forraje en el momento del corte (Sánchez, 2004; Sánchez y Baez, 2002) (Figura 2).

El ensilaje puede ser directo o con presecado. En el ensilaje directo, tradicional o 'húmedo', el corte del forraje debe realizarse cuando la humedad se encuentra entre 68 y 72%, procediendo de inmediato al picado y acondicionamiento en el silo (Figura 3); en el ensilaje con presecado, también denominado 'henolaje', el forraje cortado se deja extendido en el campo para disminuir el



**Figura 3.** Proceso de ensilaje directo o tradicional: a) Corte y picado del forraje con el uso de cosechadora-picadora; b) Acondicionamiento y llenado del silo.



**Figura 4.** Proceso de henolaje: a) corte del forraje a ensilar; b) Deshidratación del forraje cortado en campo.

nivel de humedad hasta 45 o 55%, siendo recogido posteriormente para su almacenamiento (Figura 4).

Se diferencian tres fases en el proceso: la fase aeróbica que comprende los cambios del forraje inmediatamente después del corte y antes de eliminar el aire; la fase anaeróbica o periodo real de fermentación, corresponde a los cambios de la masa forrajera después de eliminar el aire, y la fase de alimentación o vaciado que se inicia después de la apertura del silo (Sánchez 2004; Sánchez *et al.*, 2002).

La presencia de oxígeno facilita la actividad de células vegetales y microorganismos aeróbicos existentes. En esta actividad aeróbica y por acción de enzimas vegetales los azúcares son convertidos en dióxido de carbono, agua y calor, mientras que los carbohidratos de reserva y la hemicelulosa son transformados en azúcares, actividades que permiten prolongar la respiración celular (Muck, 1996; Weiss, 1996). Los procesos de oxidación reducen el nivel de oxígeno en la masa forrajera, presentándose entonces lisis celular con liberación de proteasas, las cuales incrementan los niveles de nitrógeno no proteico a expensas de proteína, actividad de máximo nivel durante las primeras 48 horas (Muck, 1996). De esta manera, procesos ineficientes de transporte y llenado del silo originan prolongadas fases aeróbicas, las cuales se acompañan de elevación de temperatura del forraje (daño por calor), e incremento de proteólisis, con elevadas pérdidas de energía y materia seca.

Los cambios químicos que se presentan en la masa forrajera durante la fase anaeróbica del proceso son originados por microorganismos, los cuales pueden originar tres tipos de fermentación anaeróbica: acética, láctica y butírica, siendo láctica la fermentación ideal para el proceso de ensilaje. Los principales géneros de bacterias ácido lácticas responsables de la fermentación en ensilajes son: *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Enterococcus* y *Leuconostoc* (Muck, 1996), siendo su característica fundamental fermentar azúcares hasta ácido láctico. Sin embargo, algunas especies también producen ácido acético y etanol durante la fermentación, razón por la cual se clasifican en dos grupos: heterofermentativas y homofermentativas (Muck, 1996).

Una vez eliminado el oxígeno de la masa forrajera (Figura 5) las bacterias heterofermentativas inician su multiplicación (fase de transición), convirtiendo los azúcares simples en ácidos orgáni-



**Figura 5.** Compactación del forraje en el silo para eliminar el aire de la masa forrajera: a) el tubo de concreto se utiliza en silos pequeños; b) compactación con tractor en silo; c) recolección y compactación del forraje con enfardadora.

cos, principalmente acético y láctico. El crecimiento y multiplicación de estas bacterias continúa hasta cuando el pH desciende a valores cercanos a 5. Aunque se produce ácido acético, esta fase es necesaria para crear dentro de la masa forrajera un ambiente más favorable para el desarrollo y crecimiento de bacterias ácido lácticas homofermentativas (Sánchez y Baez, 2002; Weiss, 1996).

A pH igual o inferior a 5, las bacterias lácticas se constituyen en los microorganismos predominantes, transformando azúcares en ácido láctico, cuyo nivel

incrementa hasta inhibir el crecimiento microbial; a este nivel se considera que el forraje ha sido fermentado y su calidad se mantendrá estable mientras haya ausencia de oxígeno. Generalmente esta fase tiene una duración que puede variar entre 10 y 25 días (Sánchez, 2002; Weiss, 1996).

La acidez del forraje también es afectada por la capacidad buffer del cultivo, determinada por la resistencia de una muestra de forraje al cambio de pH. En general, las leguminosas presentan mayor capacidad buffer que las gramíneas, motivo por el cual se ensilan con mayor dificultad y el producto resultante presenta un mayor pH (Kung y Shaver, 2001).

La conservación durante el proceso de ensilaje se realiza por la alta acidez obtenida (bajo pH) y por las condiciones anaeróbicas de la masa forrajera (Rees, 1997; Muck, R., 1996; Weiss, 1996). Cuando la materia seca es alta (mayor de 45%), los procesos de fermentación son limitados, predominando en importancia las condiciones anaeróbicas; si la materia seca es baja (20 a 45%), la fermentación es más intensa y de mayor duración (Michelena *et al.*, 2002; Kung y Shaver, 2001; Weiss, 1996).

En general, los componentes básicos para realizar con éxito la fermentación durante el proceso de ensilaje son bacterias (bacterias acidolácticas), carbohidratos solubles (principalmente glucosa y fructosa), determinados niveles de humedad y un ambiente libre de oxígeno. Cuando se trabaja con henalaje, las bajas concentraciones de azúcares pueden limitar de manera importante la fermentación, con efectos adversos tales como proliferación de bacterias indeseables y hongos, calentamiento del material, pérdidas de materia seca y disminución importante de la palatabilidad.

Aunque la calidad del ryegrass disminuye de manera importante a medida que avanza la madurez, es importante conocer las variaciones en el nivel de diferentes nutrientes, especialmente de carbohidratos solubles, a medida que se presenta la floración y formación de semillas, ya que estos nutrientes son importantes para el proceso de conservación (McCormick *et al.*, 2002). En ryegrasses anuales los niveles de azúcares son altos; sin embargo, sus concentraciones varían de acuerdo con el estado de madurez. En estados vegetativos tiernos los carbohidratos solubles son más bajos que en estados de formación de semilla,

**Tabla 1.** Efecto del estado de madurez del Ryegrass anual sobre la concentración de azúcares y calidad del forraje.

Estado de madurez	Composición y Energía del forraje (%MS)			
	Azúcares	PC	FDA	ENL
Tierno	15.4	18.8	27.6	0.75
Prefloración	26.6	18.7	33.1	0.68
Floración	26.5	13.1	35.6	0.64
Semilla lechosa	24.3	11.9	35.4	0.64
Maduro	11.6	8.6	39.2	0.60

PC= proteína cruda; FDA= Fibra en Detergente Ácido; ENL: energía neta de lactancia. Tomado de: McCormick *et al.* (2002).

pero superiores a los niveles de plantas maduras (Tabla 1), época en la cual, el nivel de azúcares es deficiente para el henolaje. Adicionalmente, la madurez también afecta de manera negativa los contenidos de proteína y fibra, reduciendo la energía neta.

Todavía no se conoce la concentración de azúcares mínima necesaria para el proceso de henolaje en raigrases; sin embargo, para ensilajes húmedos (forraje picado), se requiere un mínimo de 6% a 8% de azúcares (sobre MS); por esta razón, cuando los niveles de estados tiernos (o vegetativos) son inferiores, es aconsejable el presecado para disminuir la humedad hasta niveles aproximados del 50%, concentrando así los azúcares y asegurando una adecuada fermentación (McCormick *et al.*, 2002).

El exceso de humedad de cultivos forrajeros en estados tiernos favorece el desarrollo de clostridios, estimula la producción de ácido butírico, incrementa las pérdidas y reduce la calidad del producto, mientras que la madurez avanzada (grano vítreo o duro) reduce los niveles de azúcares fermentables y los de proteína cruda, e incrementan los de pared celular reduciendo la fermentación láctica y la calidad del producto resultante. En este aspecto, los cambios registrados en materia seca (MS) y carbohidratos solubles (CS) del sorgo bicolor al pasar del estado en flor a grano lechoso y grano pastoso (27.4%, 28.8% y 34% de MS y 12.0%, 14.9% y 69% de CS, respectivamente) afectaron los principales indicadores de calidad del ensilaje resultante, principalmente pH (3.7, 3.9 y 4.2, respectivamente) y láctico (5.8%, 4.5% y 3.0% de la MS) (Ashbell y Weinberg, 1998).

También existen otros indicadores de eficiencia del proceso tales como nitrógeno amoniacal y niveles de ácidos acético y butírico (Tabla 2). Sin embargo, la tasa y grado de fermentación de la masa forrajera, y en consecuencia, la calidad

del producto ensilado, serán dependientes de las condiciones predominantes dentro del silo, principalmente las relacionadas con temperatura, humedad y grado de compactación, adicionándose la disponibilidad de sustrato y la cantidad y tipo de microorganismos existentes. En general, las gramíneas del trópico alto colombiano presentan bajos niveles de materia seca y bajos niveles de carbohidratos solubles, características que restringen las fermentaciones lácticas del forraje recién cortado; al tratar de corregir estas deficiencias con periodos variables de marchitez o presecado, acordes con la variabilidad de las condiciones climáticas, se han obtenido resultados variables

(Tabla 3). A medida que se prolonga la marchitez se incrementa la actividad de enzimas endógenas, que incrementa de manera importante la proteólisis del material y genera un producto de menor calidad, con menor nivel de proteína verdadera y altos niveles de nitrógeno amoniacal (Muhlbach, 2000), afectando directamente el consumo voluntario y la productividad de los animales.

Como alternativa adicional, se encuentran disponibles diferentes investigaciones realizadas con insumos, enzimas, microorganismos, subproductos y/o combinaciones de sustancias, comúnmente denominados aditivos para ensilaje que pueden mejorar y/o modificar diferentes indicadores del proceso de conservación, y en consecuencia, el tipo de fermentación y la calidad del producto obtenido; sin embargo, ningún aditivo puede compensar las deficiencias de manejo del forraje ni los defectos de la infraestructura ni el efecto de temperaturas superiores a 30°C (Muhlbach, 1999).

#### Aditivos para ensilajes

Se denomina aditivo a cualquier sustancia que al ser incluida en la masa

**Tabla 2.** Características de ensilajes estables.

Indicador	Variaciones
pH	4.0 – 4.5 Valores más altos para ensilaje de leguminosas Valores superiores para presecado (vs. Directo) Límites inferiores o valores bajos para ensilaje de maíz y otros cereales
Acido láctico (% MS)	6 – 8 % en ensilajes directos o húmedos 3 – 4 % en ensilajes con presecado 1 – 3 % en granos de alta humedad
Acido acético (% MS)	< 2% en ensilajes de forrajes
Acido butírico ((% MS)	< 0.1 %
Acido propiónico (% MS)	0 – 1 %
Carbohidratos solubles (% MS)	4– 6% en gramíneas y leguminosas 6– 8 % en ensilaje de maíz 1 – 4 % en ensilaje de granos con alta humedad
Nitrógeno (% N total)	< 5 % en maíz y cereales < 10 % en gramíneas y leguminosas

**Tabla 3.** Efecto del presecado sobre indicadores de calidad y fermentación de forrajes tropicales.

	Forraje			Ensilaje			
	MS (%)	CS	PV (% PC)	N-NH <sub>3</sub> (%NT)	pH	Láctico (% AT)	Butírico (% AT)
<b>Elefante (120 días crecimiento)</b>							
Fresco	19.7	2.17	88.0	9.4	4.4	66.6	2.4
Presecado 50 h	26.6	3.0	62.0	14.8	4.5	41.7	4.1
<b>Mijo (45 días rebrote)</b>							
Fresco	16.0	2.7	82.1	6.2	4.0	78.6	0.9
Presecado 48h	31.0	4.24	58.5	10.3	4.2	60.6	2.0

MS: materia seca; CS: carbohidratos solubles; PV: proteína verdadera; PC: proteína cruda; N-NH<sub>3</sub>: nitrógeno amoniacal; NT: Nitrógeno total; AT: ácidos totales. Tomado de Muhlbach (2000).



**Figura 6.** Incorporación de aditivos al ensilaje: a) la regadera se usa principalmente para adicionar melaza; b) la bomba de espalda se utiliza para incorporar diversos inóculos en solución.

forrajera facilita la fermentación láctica y/o mejora la calidad del producto obtenido. De esta manera, los aditivos disponibles pueden ser estimulantes de la fermentación, inhibidores de la fermentación y modificadores nutricionales (Muck and Bolsen, 1991; Weiss, 1996) (Figura 6). Los estimulantes incrementan la tasa y grado de fermentación y en ocasiones, el tipo de fermentación; los más utilizados son cultivos de bacterias ácido lácticas (también denominados inóculos), los cuales incrementan el número de microorganismos lácticos en la masa forrajera. Aunque no afectan directamente la duración de la fase aeróbica, pueden reducirla de manera indirecta al aumentar la acidez, disminuyendo también la fase de homofermentación al alcanzar más rápidamente el pH final. Su principal objetivo consiste en mejorar la recuperación de materia seca y/o disminuir las pérdidas de energía, incrementando además, la protección de proteína verdadera (Muck, 1996).

La velocidad de fermentación puede incrementarse cuando se inoculan bacterias acidolácticas en número suficiente para dominar la flora natural existente, recomendándose que todo inóculo proporcione un nivel mínimo de  $10^6$  ufc/gramo de forraje fresco (Rees, 1997).

Existen tres especies comerciales de microorganismos con la mayoría de las características deseables para el proceso de ensilaje: *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus* y *Streptococcus durans*, motivo por el cual, *L. plantarum* se encuentra en la mayoría de inóculos comerciales. Como su crecimiento es pobre en condiciones aeróbicas y a pH superior a 5, generalmente se asocia con *Enterococcus faecalis* y *Pediococcus sp.*, especies adaptadas a estas condiciones (Rees, 1997).

En general, los inóculos son útiles cuando el forraje presenta bajo nivel de carbohidratos solubles y alta capacidad buffer, tal como sucede en tréboles y alfalfa. Sin embargo, la inclusión de inóculos microbiales en diferentes forrajes ha permitido obtener mejores características del ensilaje resultante, principalmente menor pH, mayor concentración de ácido láctico y menor nivel de nitrógeno amoniacal.

Hristov y McAllister (2002), reportan un mejor comportamiento del ensilaje de cebada entera inoculada con *Lactobacillus plantarum* y *Enterococcus faecium* (4.65 vs. 4.69 para pH; 41.7 vs. 52.0 gramos de azúcares/kgMS; 41.9 vs. 37.7 gramos de ácido láctico /KgMS y 4.0 vs. 4.2 % de amoníaco (%N total) para ensilaje inoculado y control, respectivamente). Aunque la aplicación de *Lactobacillus buchneri* en alfalfa picada (concentraciones de  $1 \times 10^5$ ,  $5 \times 10^5$  y  $1 \times 10^6$  ufc/g de forraje), tuvo poco efecto durante los primeros 8 días de fermentación, los indicadores de calidad para forraje tratado fueron superiores (a 56 días) a los obtenidos en el control sin inóculo (4.55 vs. 4.38 de pH; 6.40 vs. 4.24% de ácido acético; 3.51 vs. 4.12% de ácido láctico, para ensilaje inoculado y sin inocular, respectivamente). Aunque dosis moderadas de aplicación, permitieron mayores recuperaciones de materia seca (Kung *et al.*, 2003), la utilización de los niveles sugeridos por las casas distribuidoras, disminuyeron la recuperación de materia seca ( $P < 0.01$ ), por una mayor pérdida de efluentes, al tratar mezcla de Avena, (*Avena sativa*), sauco (*Sambucus peruviana*) y *Acacia decurrens* con un inóculo comercial basado en *Lactobacillus plantarum*, *L. Acidophilus* y *L. Bulgaricus* (Blanco, 2004).

El tratamiento de sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* L.) con una mezcla de

*Lactobacillus plantarum* y *Streptococcus faecium* en niveles de  $1.1 \times 10^5$  ufc/gramo de forraje fresco redujo el pH pero no alteró la digestibilidad in vitro de FDN ni FDA, ni se previno el deterioro aeróbico (Sanderson, 1993, citado por Muhlbach, 1996); resultados similares (incremento de láctico y acético de 9.2 a 15.3%) fueron reportados por Froetschel 1995, citado por Muhlbach, al inocular sorgo en estado lechoso (61.5% MS), incrementando además la recuperación de materia seca en 7.1%.

Los inhibidores son sustancias que reducen la tasa y grado de fermentación, disminuyen el crecimiento de microorganismos aeróbicos y/o reducen la actividad de enzimas vegetales, siendo importantes por disminuir ruptura de proteínas vegetales, conteos de microorganismos perjudiciales y pérdidas durante el proceso de fermentación.

Los principales inhibidores utilizados en ensilajes directos son los ácidos propiónico y fórmico, los cuales disminuyen drásticamente el pH del forraje y la fermentación por *Clostridium*. Se consideran también inhibidores, el presecado y la adición de urea o amoníaco, ya que estas sustancias son tóxicas para toda clase de microorganismos presentes en ensilajes, adicionándose la alta capacidad buffer del amoníaco. Al comparar el efecto de diferentes inhibidores (ácidos propiónico y fórmico al 0.3% y presecado durante 4 horas) sobre el valor nutritivo del ensilaje de King grass, Michelena y colaboradores (2002), concluyeron que los diferentes inhibidores disminuían las pérdidas de nitrógeno durante el proceso, siendo el presecado más eficiente para este fin y para disminuir el nivel de nitrógeno soluble (50.0%, 55.0% y 38.% de nitrógeno soluble como porcentaje del nitrógeno total, para fórmico, propiónico y presecado, respectivamente). Por otra parte, el presecado mejoró el consumo y la digestibilidad aparente de la materia seca del producto en carneros enteros (39.65, 39.97, 41.21 y 53.48 g/kg $0.75$ ; 45.42%, 47.15%, 52.63% y 58.80%, para testigo, fórmico, propiónico y presecado, respectivamente).

Al tratar mezcla de Avena, Sauco y Acacia con ácido fórmico al 85% o inóculo comercial, Blanco (2004), reportó disminución importante del nitrógeno soluble (Tabla 8) e incremento de la fracción lentamente degradable del tratamiento con fórmico, respecto al tratamiento con inóculos. De la misma manera, Ojeda y Cáceres 1984, citados por Muhlbach,

1996) y Sánchez *et al.* (2000), obtuvieron mejores indicadores de calidad del ensilaje de elefante y cogollo de caña, respectivamente, al adicionar ácido fórmico en niveles de 3.5 y 2.5 lit/ton de forraje, respectivamente, comparados con los obtenidos en el control.

Los modificadores pueden ser alimentos, fuentes de nutrientes, enzimas y/o extractos microbiales que al ser adicionados corrigen deficiencias del forraje, proporcionan nutrientes a los microorganismos responsables de la fermentación y/o liberan nutrientes a partir de compuestos existentes en el sustrato, siendo carbohidratos solubles, urea, amoníaco, algunos minerales y enzimas, los modificadores más utilizados.

La adición de carbohidratos solubles (mono o disacáridos) puede incrementar la tasa y grado de fermentación, mientras que todavía existe controversia sobre la utilidad y/o disponibilidad de almidones o granos molidos para las bacterias ácido-lácticas; en este sentido, los almidones modifican muy poco la tasa y grado de fermentación.

La melaza de caña (75% MS) se ha utilizado hasta en niveles del 10% del forraje en ensilajes de forrajes tropicales; no obstante, el incremento permanente de su precio ha disminuido su inclusión a valores de 3 a 5% (Sánchez *et al.*, 2000; Muhlbach, 1999). En efecto, al utilizar niveles de 3% en pasto elefante (Silveira *et al.*, 1973, citados por Muhlbach, 1999) y en pasto kikuyo (Sánchez, 2000), la calidad de fermentación y la digestibilidad de la materia seca fueron superiores a las obtenidas con ácido fórmico o el control. Sin embargo, bajo condiciones de alta humedad, la melaza puede inducir deterioro clostridial, especialmente en forrajes contaminados por lodo (Muhlbach, 1999). La melaza también se ha empleado para la producción de ensilajes líquidos, los cuales permiten la conservación de productos y subproductos energéticos (principalmente papa), cuando su bajo precio y/o los excedentes de producción dificultan la comercialización (Uribe, 2002).

La utilización de enzimas, principalmente fibrolíticas, en la alimentación de rumiantes se ha desarrollado por la necesidad de mejorar la digestibilidad de la pared celular de los forrajes y de esta manera incrementar el consumo voluntario, contribuyendo además a disminuir la polución ambiental (Colombatto *et al.*, 2003). Adicionalmente, estas enzimas presentan un alto potencial de

utilización por tratarse de una tecnología natural (diferente a antibióticos y hormonas), que cada vez se hace más accesible a los productores.

A diferencia de los extractos de fermentación, las enzimas son productos relativamente concentrados y purificados, que contienen actividades enzimáticas específicas y controladas, y usualmente no contienen células vivas, factor básico que las diferencia de levaduras y probióticos (Colombatto *et al.*, 2003).

La adición de enzimas a ensilajes ha adquirido importancia desde la década del 90, teniendo como objetivo la ruptura de compuestos fibrosos para incrementar la digestibilidad del producto; adicionalmente, la conversión de productos fibrosos en azúcares proporciona a las bacterias una mayor cantidad de sustrato para la producción de ácido láctico. Dentro de la gran variedad de enzimas comerciales disponibles, en las dietas de rumiantes predominan las de origen fungal (principalmente de *Trichoderma longibrachiatum*, *Aspergillus niger* y *Aspergillus oryzae*) y bacterial (principalmente *Bacillus spp.*) (Beauchemin *et al.*, 2003). Por otra parte, la mayoría de productos enzimáticos con efectos fibrolíticos actualmente utilizados en las dietas de rumiantes se desarrollaron inicialmente como aditivos para ensilajes (Feng *et al.*, 1996, citado por Beauchemin *et al.*, 2003).

Las enzimas de mayor utilización en ensilajes son celulasas, hemicelulasas, xylanasas, amilasas y pectinasas (Hoffman and Muck, 1999); sin embargo, las involucradas en la hidrólisis de celulosa pueden ser endocelulasas (endoglucanasa, endo-beta1-4-glucanasa, carboximetil celulosa o beta1-4 glucan-glucanohidrolasa), exocelulasas (exoglucanasa, exo-beta1-4 glucanasa, celulosa-beta1-4-celobiosidasa) y beta-glucosidasas (celobiasa o glucosidasa), las cuales se diferencian por los productos resultantes de la hidrólisis, mientras que las hemicelulasas involucran una amplia gama de enzimas acordes con la diversidad de compuestos que conforman el complejo (Beauchemin *et al.*, 2003). No es recomendable el uso de proteasas durante los procesos de ensilaje por el incremento adicional en los niveles de nitrógeno soluble (Kung, 1999).

En la actualidad, la disminución de los niveles de fibra y las mejoras en el proceso de fermentación al utilizar enzimas ha sido superior en gramíneas principalmente inmaduras, ya que el nivel de

lignificación ha dificultado la acción en gramíneas maduras. Para Kung y Muck (1997), los resultados obtenidos no son representativos, ya que de 51 trabajos realizados (29 en consumo voluntario, 10 en ganancia de peso y 12 en producción láctea), solo se reportaron resultados positivos en 28%, 40% y 33% para Consumo, ganancia de peso y producción láctea, respectivamente, resultados atribuidos a la acción de enzimas, las cuales degradan la fracción de fibra más disponible dejando en el producto la fracción menos degradable; adicionalmente, las respuestas en consumo, producción láctea y ganancia de peso han sido inferiores a las obtenidas con inóculos.

Diversos factores pueden afectar la eficiencia de enzimas sobre la degradación de fibra, ya que éstas también requieren ciertas condiciones para su máxima actividad. Aunque la mayoría de celulasas requieren un pH de 4.5 y una temperatura de 50°C para su óptimo rendimiento, el área de superficie, nivel de humedad del sustrato y nivel de proteasas vegetales afectan su eficiencia. Por otra parte, no se conoce la mezcla óptima de enzimas que mejoren la fermentación, ya que la ruptura de celulosa hasta glucosa requiere una acción sinérgica entre enzimas (Kung y Shaver, 2001).

Colombatto *et al.* (2003), demostraron el efecto de un producto enzimático (Liquicell 2500) derivado del *Trichoderma reesei* (con actividad xylanasa y celulasa) sobre la hidrólisis y fermentación de celulosa y xilano, *in vitro*. En ausencia de fluido ruminal el producto incrementó la liberación de azúcares reductores después de 20 horas de incubación a 20°C ( $P < 0.001$ ), mientras que la adición de líquido ruminal con el producto enzimático incrementó en 85% las actividades xylanasa, endoglucanasa y beta D-glucosidasa en la fracción líquida, concluyendo que la combinación pre y postincubación incrementan la liberación de azúcares durante la fase de pretratamiento y la actividad hidrolítica de las fracciones líquida y sólida del fluido ruminal. Adicionalmente, los autores estimaron la actividad enzimática de 22 productos enzimáticos comerciales (utilizados a niveles de 1.5 microlitros/g MS), mediante la liberación de azúcares reductores de heno de alfalfa y ensilaje de maíz; mientras que en alfalfa, la mayor parte del efecto enzimático se registró durante el periodo de pretratamiento, la efectividad de las enzimas sobre el ensilaje se registró principal-

mente al adicionar fluido ruminal. Conclusiones similares fueron obtenidas por Pinos-Rodríguez *et al.*, (2002), al utilizar enzimas fibrolíticas exógenas sobre forrajes de alfalfa y ryegrass.

Existe evidencia positiva sobre incrementos en digestibilidad de la fibra al utilizar enzimas fibrolíticas; aunque el estado fisiológico y las condiciones específicas del experimento originan alta variabilidad en el comportamiento animal (Beauchemin *et al.*, 2003; Beauchemin *et al.*, 2000). En efecto, al aplicar bajas y altas dosis (1.22 y 3.67 litros de producto por tonelada de dieta total) de un producto comercial basado en enzimas de actividad xylanasa, endocelulasa y betaglucanasa, sobre cebada ensilada y alfalfa deshidratada, se presentó incremento significativo del consumo de alimento respecto al control (22.0, 21.64 y 20.46 kgMS/vaca/día para bajo, alto nivel y control, respectivamente) pero el incremento de la digestibilidad total solo se presentó a bajas dosis de enzimas (64.7%, 67.3% y 64.7% de materia seca y 37.6%, 42.5% y 40.3% de FDA, para bajo nivel, alto nivel y control, respectivamente); adicionalmente, no se obtuvieron diferencias en rendimiento lácteo ni en la composición del producto lácteo por el balance energético positivo en que se encontraban los animales (dieta constituida por 45% de forraje y 55% de suplemento) durante el periodo experimental (Beauchemin *et al.*, 2000). No obstante, Rode *et al.* (1999) reportan diferencias importantes en la producción láctea de vacas que recibieron dietas totales (24% y 15% de ensilaje de maíz y heno de alfalfa, respectivamente) inoculadas con mezcla de enzimas de actividad xylanasa y celulasa a un nivel de 1.3 g/kg MS dieta total; en efecto, la digestibilidad de nutrientes incrementó (61.7% vs. 69.1% para materia seca; 42.5% vs. 51.0% para FDN, en control y tratamiento enzimático, respectivamente) al igual que la producción láctea (35.9 vs. 39.5 kg/día, respectivamente), mientras que el porcentaje de grasa láctea fue inferior (3.87% vs. 3.37%, respectivamente).

En 20 ensayos que incluían 41 tratamientos de forrajes para vacas lecheras con enzimas, se presentaron incrementos en consumo y rendimiento lácteo (1.0 +/- 1.3 kg MS/día y 1.1 +/- 1.5 kg leche/día, respectivamente), aunque la variabilidad registrada fue demasiado alta (Beauchemin *et al.*, 2003); por otra parte, en trabajos realizados por Lewis *et al.* (1996), la aplicación de estas enzimas sobre dietas

totales de vacas lecheras (1 mL/kg MS) incrementó el rendimiento lácteo en 16% (6.3 kg/día adicionales). La alta variabilidad registrada en el comportamiento animal fue atribuida al tipo de enzima utilizada, nivel de suplementación, método de aplicación de la enzima y balance de energía de los animales.

Al utilizar inóculo de *L. plantarum* (106 ufc) solo y en mezcla con complejo enzimático celulasa, hemicelulasa y xilanasasa al 0.1% del forraje verde, mejoraron la calidad del ensilaje resultante (menor pH y mayor población de microorganismos) pero no lograron reducir el deterioro aeróbico del material en un ambiente tropical.

Al utilizar *Lactobacillus plantarum* y *Pediococcus cerevisiae* solos, o con celulasas y pectinasas, sobre cebada entera acondicionada en fardos de henolaje, Moshtaghi y Wittenberg (1999), encontraron diferencias ( $P < 0.05$ ) en los niveles de nitrógeno amoniacal, los cuales fueron menores cuando se utilizó inóculo solo, mientras que el pH fue inferior y



**Figura 7.** Proceso de henolaje: a) la enfardadora expulsa el fardo; b) sellado de fardos; c) almacenamiento de fardos.

los niveles de ácido láctico superiores en henolaje tratado que en el control sin aditivos; adicionalmente, los aditivos incrementaron de manera significativa la estabilidad del producto, cuya temperatura se modificó después de 5, 9 y 12 horas de exposición al aire para control, aditivos y aditivos mas enzimas, respectivamente. Para los autores, la adición de enzimas a los inoculantes microbianos no produjo efectos benéficos adicionales sobre la calidad de los fardos (Figura 7).

Al ensilar pasto elefante de 60 días de rebrote (14% MS, 70% FDN) con una mezcla de bacterias y enzimas (BioSilo) en niveles de 0.1% del forraje verde, no obtuvieron efecto alguno del aditivo sobre composición del ensilaje, pH, nitrógeno amoniacal, consumo y digestibilidad en ovejas. Sin embargo, se reportan mejoras en la fermentación de pasto elefante presecado solo y con glucosa (40g/kg de forraje) tratado con una mezcla de celulasas (*Acremonium cellulolyticus* y *Trichoderma viridae*) solas y en mezcla con inóculo de *Lactobacillus casei* (108 ufc/kg de forraje marchito), al obtener valores más bajos de pH y amoníaco y más altos para ácido láctico, solo cuando el sustrato fermentable era superior por adición de celulasas y/o glucosa.

A nivel nacional, se realizan investigaciones que incluyen el líquido ruminal como aditivo para el proceso de conservación; adicionalmente, el grupo de Microbiología del Programa de Fisiología y Nutrición Animal de CORPOICA, caracterizó y seleccionó cepas bacterianas de los géneros *Ruminococcus* y *Fibrobacter* (después de rigurosas evaluaciones de diferentes microorganismos ruminales de bovinos en diferentes regiones del país), con capacidad de incrementar (*in vitro*) hasta en 15% la digestibilidad de forrajes tropicales, creando además el primer banco de germoplasma de microorganismos del tracto gastrointestinal; adicionalmente, caracterizó y purificó la primera endoxilanasasa (la XENFT), a partir del complejo de enzimas hidrolíticas del hongo *Neocallimastix frontalis*, productos que permitirán mejorar la utilización de forrajes tropicales y en consecuencia, la nutrición y productividad animal en diferentes tipos de explotación (Martín *et al.*, 2003).

Lewis *et al.* (1996), obtuvieron incrementos en la digestibilidad de nutrientes (61.9% vs. 63.6% para materia seca; 56.3% vs. 59.6% para FDN y 53.6% vs. 57.2% para FDA, para aplicación de enzimas y control, respectivamente) y disminución

de la tasa de degradación de partículas ruminales al utilizar enzimas fibrolíticas sobre los componentes de la dieta (70% forraje y 30% suplemento) de machos para carne canulados, con resultados similares al aplicar las enzimas sobre el forraje o suplemento. Por otra parte, McAllister *et al.* (1999), reportan incrementos en consumo ( $P < 0.01$ ) y ganancias de peso (10% superiores) en ceba de animales de carne, cuando utilizaron enzimas fibrolíticas exógenas (combinación comercial de celulasa y xylanasa en proporción 2:1; en dosis de 3.5 lt/ton MS) sobre los dos componentes de la dieta (30% de la dieta como ensilaje de raigras y 70% como cebada); sin embargo, cuando el complejo enzimático fue aplicado solo sobre el forraje (ensilaje) a niveles de 1.25, 3.5 y 5.0 lit/ton de materia seca, los incrementos en consumo y ganancias de peso solo fueron importantes a nivel de tendencia, durante los primeros 56 días del ensayo. En contraste, ZoBell *et al.* 2000, citado por Beauchemin *et al.*, (2000), no reportan efectos positivos al utilizar el mismo producto enzimático en animales similares.

Después de revisar diferentes investigaciones realizadas con enzimas fibrolíticas, Colombatto *et al.* (2003), afirma que la respuesta animal a la inclusión de estos productos es mayor cuando la digestibilidad de la fibra está comprometida y la energía se constituye en la primera limitante.

#### ESTABILIDAD AERÓBICA

La estabilidad aeróbica se define como el periodo durante el cual la temperatura de la masa ensilada permanece estable después de la apertura del silo y se constituye actualmente en indicador fundamental para garantizar la calidad y durabilidad del producto; un ensilaje estable presenta bajo desarrollo aeróbico secundario de microorganismos sobre su superficie cuando se reexpone al oxígeno, mientras que uno inestable puede registrar pérdidas de materia seca hasta del 50% (Weiss, 1996; Muck, 2002).

La inestabilidad de ensilajes está determinada por actividad microbiana, la cual se inicia por presencia de oxígeno, asociándose, por tanto, con altas poblaciones de hongos, levaduras y bacterias aeróbicas. Se origina por fallas durante el llenado del silo (pobre compactación e inapropiada longitud de picado), contaminación de la masa forrajera y/o bajas

tasas de remoción o vaciado del silo. Al destapar el silo y mientras el pH se encuentre bajo, el crecimiento de microorganismos aeróbicos es lento; a medida que los ácidos orgánicos son catabolizados por estos microorganismos el pH va aumentando, presentándose entonces un crecimiento microbiano exponencial y un rápido deterioro del material. La oxidación del ácido láctico es considerada como el paso inicial más importante de este deterioro, siendo las levaduras y las bacterias ácido acéticas, las principales responsables de esta oxidación (Rees, 1997).

En este sentido es importante la densidad del ensilaje, ya que en asocio con el contenido de materia seca, determinan la porosidad o tasa de movilización del aire dentro de la masa forrajera, siendo el peso de la máquina y el tiempo utilizado para compactación los principales determinantes de la densidad. En general, se recomienda una densidad mínima de 240 kilogramos de materia seca/ m<sup>3</sup> para reducir las pérdidas por fermentación (Tabla 4) y durante el periodo de alimentación (Holmes y Muck, 1999).

Los climas cálidos y húmedos aceleran el deterioro del ensilaje durante la fase de alimentación, ya que las altas temperaturas facilitan el desarrollo de mohos y la actividad de levaduras; en estos climas se debe trabajar mucho en tamaño de picado y compactación durante el proceso de llenado, y en los cuidados durante la remoción de ensilaje durante la fase de alimentación para dejar una pared muy plana con el mínimo de superficie expuesta al aire. Adicionalmente, la estabilidad aeróbica debería constituirse en una prueba rutinaria en zonas cálidas (Ashbell y Weinberg, 2002).

A medida que se han introducido inoculantes para mejorar la eficiencia de fermentación y el comportamiento productivo de los animales que con-

sumen ensilajes, también ha mejorado la estabilidad aeróbica de éstos (Muck, 2002); por esta razón, los productores de inoculantes han desarrollado investigaciones complementarias para continuar el mejoramiento de este indicador. En este sentido, se ha trabajado en dos estrategias: obtener bacterias lácticas homofermentativas con capacidad de inhibir el crecimiento de levaduras, principales iniciadoras de los cambios indeseables y el calentamiento de ensilajes durante la fase de alimentación, y en segunda instancia inocular el forraje con *Lactobacillus buchneri*, bacteria láctica heterofermentativa que incrementa el nivel de ácido acético en el producto, ya que el acético se ha comportado como un mejor inhibidor de levaduras que el láctico (Muck, 2002).

Muck (2002), al trabajar con ensilaje de maíz e inoculantes comerciales estándar, productos nuevos con especies heterofermentativas de *Lactobacillus buchneri* y la combinación del inoculante estándar con un inhibidor químico de crecimiento (benzoato de sodio), a una dosis general de 1 g/50 g de forraje demostró que los inoculantes estándar originaban ensilajes menos estables, mientras que los tratamientos con *L. buchneri* y la combinación del inoculante estándar con Benzoato mejoraban de manera significativa la estabilidad aeróbica (>152 horas vs. <75 horas, en el año 1999; >500 horas vs. <100 horas, en el año 2001), disminuyendo además los recuentos de levaduras y hongos. Resultados similares fueron reportados por Kung *et al.*, (2003), al inocular alfalfa (43% MS) con una aplicación comercial ( $4 \times 10^5$  ufc/g) de *L. Buchneri* en silos de bolsa a gran escala. El ensilaje obtenido contenía más ácido acético (5.67 vs. 3.35%) y menor ácido láctico (3.50 vs. 4.39%) que el ensilaje no tratado, mientras que la estabilidad aeróbica de la ración total con ensilaje tratado (32% de ensilaje de alfalfa) era superior (100 vs. 68 horas).

Mientras que algunos productos comerciales a base de levaduras se utilizan para incrementar consumo de materia seca y comportamiento productivo en dietas con altos niveles de ensilaje de maíz, se dispone al mismo tiempo, de productos comerciales basados en ácido propiónico que reducen el crecimiento de levaduras y hongos en dietas totales con niveles importantes de ensilaje, mejorando así la estabilidad de éste en el comedero. En muchas ocasiones, estos productos incluyen ácido acético y/o ácido benzoico,

**Tabla 4.** Pérdidas de materia seca asociadas con la densidad del ensilaje.

Densidad(kg·m <sup>-3</sup> )	Pérdidas a 180 días del proceso (%MS)
160	20.2
224	16.8
240	15.9
257	15.1
289	13.4
353	10.0

Tomado de: Holmes, (1999).





**Figura 7.** Arreglos silvopastoriles: a) asociación caña-soya; b) asociación morera-elefante.

para mejorar su efectividad contra levaduras; sin embargo, sus altos costos limitan su inclusión en dietas totales, y solo se adicionan cuando se detectan problemas importantes en la estabilidad del ensilaje. Sin embargo, existen otras prácticas que contrarrestan este problema, tales como suministro de cantidades más pequeñas de ensilaje en comedero e incremento en el número de alimentaciones, mejor procesamiento de partículas grandes y/o adición de líquido melaza-agua para ligar partículas finas, procurando además, limitar el nivel de ensilaje de maíz al 50% de la materia seca.

Teniendo en cuenta que la efectividad de las enzimas aplicadas varía con la dieta y con el componente de la dieta al cual se realiza la aplicación, y que se presentan relaciones importantes con las enzimas ruminales, Wallace *et al.* (2001), adicionaron enzimas fibrolíticas exógenas (celulasas extraídas de *Trichoderma longibrachiatum*) directamente al líquido ruminal *in vitro*, determinando de esta manera sus efectos sobre la tasa de digestión de ensilajes de gramínea y de maíz, cuando no se realizaba la fase de preincubación con estos alimentos. En efecto, las actividades asociadas con el aditivo (xylanasa y carboxymethylcelulasa) fueron más altas que aquellas presentes en el líquido ruminal, aunque el incremento fue bajo (aproximadamente 5% y 15%, respectivamente), al compararse con los reportados por Hristov y McAllister (2000) de 56% y 20%, cuando adicionaron las enzimas directamente al rumen. Estas diferencias fueron justificadas al considerar la menor concentración de enzimas adicionadas y la manera de obtener el líquido ruminal, el cual fue filtrado, perdiendo de esta manera la parte sólida de mayor actividad enzimática por una mayor población microbial.

Por otra parte, Weinberg *et al.* (2004), determinaron un efecto probiótico en

animales lecheros de algunos inoculantes comerciales, al evaluar la capacidad de las bacterias ácido-lácticas presentes en estos productos para pasar desde el ensilaje hasta el fluido ruminal y sobrevivir en él, disminuyendo el pH del líquido ruminal (*in vitro*) y registrar altos conteos de estas bacterias; sin embargo, los autores sugieren estudios complementarios para determinar las interacciones con los microorganismos ruminales y de esta manera, entender su efecto probiótico.

La estrategia que adquiere importancia en la actualidad, especialmente en áreas tropicales donde las gramíneas presentan deficiencias importantes de nitrógeno y/o carbohidratos solubles, consiste en la mezcla de gramíneas y leguminosas, manejadas como bancos de proteína o como arreglos silvopastoriles, aprovechando de esta manera los efectos benéficos de la leguminosa sobre suelo y gramínea y su contribución al nivel de nitrógeno en la dieta respectiva (Figura 8). De esta manera, se han rea-

lizado ensayos en diferentes sistemas de producción a nivel nacional, con los materiales disponibles en cada una de las regiones.

En este sentido, Sánchez y García (2003), obtuvieron incrementos importantes en la calidad de los productos obtenidos, al ensilar cogollo de caña y king grass mezclados con leguminosas y recursos arbóreos de las áreas cañeras del occidente de Cundinamarca. En efecto, al ensilar proporciones de 30% de leucaena (*Leucaena leucocephala*), Matarratón (*Gliricidia sepium*) y Nacedero (*Trichantera gigantea*) con cogollo de caña o pasto king grass, utilizando como aditivo melaza al 3%, se obtuvo un incremento importante en la calidad del producto obtenido al mejorar los niveles de proteína cruda y reducir los de pared celular, respecto al forraje verde, sin afectar temperatura ni el pH de los ensilajes resultantes (Tabla 5), ventajas que se reflejaron en la productividad animal y del sistema de producción.

Titterton *et al.* (2002), también reportan mejoras importantes en la calidad de ensilajes de áreas tropicales, al incrementar niveles de proteína y disminuir los altos niveles de pared celular de las gramíneas predominantes en estas zonas. En efecto, cuando ensilaron éstas con niveles variables de leguminosas, los niveles de pH obtenidos fueron adecuados para el proceso y solo se presentaron algunas diferencias en la producción de ácido láctico y nitrógeno amoniacal (Tabla 6); representado opciones importantes para disminuir el nivel de suplementos nitrogenados en la dieta y los costos de alimentación.

**Tabla 5.** Composición química de forrajes y mezcla de forrajes (verdes y ensilados) de trópico medio.

Forrajes y mezclas	Composición e indicadores					
	PC	FDN	FDA	LIGN	pH	T(°C)
	(%)					
Cogollo de caña	6.2	65.42	47.72	7.18		
Ensilaje Cogollo + leguminosa						
Cogollo + Leucaena (70:30)	11.98	55.73	44.78	7.15	4.6	23
Cogollo + Matarratón (70:30)	14.71	55.22	40.52	5.49	4.6	23
Cogollo + Nacedero (70:30)	11.78	56.84	41.75	6.61	4.3	23
King grass (55 días)	11.8	57.60	39.13	6.34		
Ensilaje King grass+leguminosa						
King grass + Leucaena (70:30)	17.32	44.24	36.72	6.40	4.3	23
King grass + Matarratón (70:30)	14.67	55.77	37.26	4.06	4.2	23
King grass + Nacedero (70:30)	12.86	54.63	38.61	6.23	4.5	23

PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; LIGN: lignina; T: temperatura. Fuente: Sánchez y García (2003).

**Tabla 6.** Calidad del ensilaje de cultivos forrajeros solos y en mezclas.

	Pérdidas (%MS)	pH	PC (%)	N-NH3 (%)	Láctico (%)	Butírico (%)	Etanol (%)
Sorgo solo	9.36	3.70	6.5	4.07	5.63	0.05	2.12
Elefante solo	8.00	4.30	6.6	4.99	4.25	1.17	0.97
Sorgo+leguminosa	12.30	3.78	14.4	4.37	6.55	0.30	0.72
Elefante+leguminosa	16.46	4.25	13.3	5.26	2.32	1.70	0.68

Tomado de: Titterton *et al.*, (2002).

En este aspecto, González *et al.* (2002), lograron mejorar el balance energético y proteico de la dieta y los incrementos de peso en machos romosinuano (117, 470 y 601 grs/animal/día, para elefante solo y elefante más morera, respectivamente) al incluir morera durante el ensilaje de elefante, mejorando además la eficiencia alimenticia.

En clima frío, Blanco (2004), en silos de laboratorio, utilizó la mezcla de *Avena sativa* con *Acacia decurrens* y *Sambucus peruviana* (Saucu), en proporciones de 53.25%, 3.24% y 43.5.1%, respectivamente, logrando mejoras significativas en la calidad del producto obtenido, representadas por incremento de proteína cruda, disminución de pared celular e incremento de proteína B3 (Tabla 7). Adicionalmente, el autor evaluó estrategias de conservación, al utilizar diferentes aditivos para el proceso (melaza sola y con ácido fórmico, extracto liofilizado de fluido ruminal solo y con fórmico, inóculo comercial solo y con melaza + fórmico), destacando el potencial para el proceso del fluido ruminal, al considerar los niveles moderados de nitrógeno amoniacal y alto nivel de ácido láctico del producto resultante (Tabla 7).

En diferentes investigaciones realizadas en Norteamérica también se observó un mejor comportamiento productivo de vacas lecheras al utilizar como forraje la mezcla ensilaje de maíz y ensilaje de alfalfa (Dhiman and Setter, 1997, citado por Bernard, 2003), comportamiento que fue atribuido a una mayor tasa de pasaje de las leguminosas y en consecuencia, un mayor consumo y rendimiento lechero. Sin embargo, Bernard (2003), en diferentes ensayos realizados al sur de Estados Unidos al utilizar dietas basadas en diferentes combinaciones de ensilajes de ryegrass y maíz con la suplementación de diferentes granos, concluyó que al incrementar la proporción de ensilaje de ryegrass (cosechado en estado de prefloración) (Tabla 8), con 55% de forraje en la dieta, los rendimientos lácteos, de proteína y grasa lácteas se incrementaban de manera lineal. Adicionalmente,

las dietas con solo ensilaje de maíz fueron bajas en fibra, con riesgo potencial de acidosis subclínica, mientras que la adición de ryegrass mejoró el pH y la fermentación ruminal, mejorando la producción láctea.

En ensayos adicionales, utilizando ensilaje de ryegrass cosechado en estado vegetativo (menor nivel de FDA y en consecuencia, mayor concentración de energía) y ensilaje de maíz, en dietas con 49.6% de forraje, suplementadas con hojuelas de maíz o grano de maíz molido, se obtuvo una mejor producción láctea (72.9 vs. 66.0 lb/d) con la combinación de los dos ensilajes (50:50), suplementados con hojuelas de maíz, adicionándose un menor nivel de nitrógeno ureico sanguíneo (15.6 vs 18.2 mg/dl), indicador de

una mejor utilización del nitrógeno de la dieta (Bernard, 2003).

### Reflexiones y recomendaciones.

Son numerosos e importantes los trabajos y logros obtenidos a nivel internacional y nacional sobre diferentes aspectos del proceso de conservación forrajera, especialmente sobre ensilajes húmedos y henolajes.

También son relevantes las investigaciones sobre caracterización y utilización de microorganismos con características deseables para obtener la fermentación láctica, y la combinación de especies complementarias en diferentes inóculos comerciales. Sin embargo, el nivel de utilización de estos inóculos a nivel nacional, todavía es deficiente por los costos relativos de la inclusión del producto y la ausencia de indicadores del proceso y/o calidad obtenida que permitan mejoras importantes en el consumo voluntario y productividad animal. Por tanto, continua la tendencia de utilizar los aditivos tradicionales, representados principalmente por melaza, en niveles variables y dependientes del tipo de forraje y proceso utilizado.

**Tabla 7.** Composición química de materiales forrajeros y mezcla de forrajes ensilados e indicadores del proceso de conservación.

Composición e indicadores	Forrajes			Ensilajes		
	Avena	Saucu	Acacia	Mezcla+ Melaza *	Mezcla+ Fluido **	Mezcla+ Inóculo ***
Proteína cruda (%)	8.72	23.27	12.19	12.22	13.77	15.18
FDN (%)	52.52	24.24	42.49	43.72	44.4	39.8
Prot soluble (%/PC)	12.95	37.56	8.83	29.9	37.8	41.5
Prot B3 (%/PC)	23.74	17.28	30.12	46.7	27.07	40.06
pH				3.87	3.86	5.21
N-NH3 (%NT)				5.11	5.21	6.81
A. láctico (%MS)				0.34	1.31	0.63

\* mezcla de los tres forrajes + melaza ( %)

\*\* mezcla de los tres forrajes + fluido ruminal liofilizado

\*\*\* mezcla de los tres forrajes + inóculo

Prot: proteína; N-NH3: nitrógeno amoniacal; NT: nitrógeno total

Fuente: Blanco (2004).

**Tabla 8.** Efectos de diferentes proporciones de ensilaje de maíz y ensilaje de Ryegrass en la dieta de vacas lecheras sobre consumo y producción láctea.

Indicadores	Proporción ensilaje maíz : ensilaje ryegrass				
	100:0	65:35	35:65	0:100	DE
Consumo MS (lb/d)	41.2	41.0	46.3	45.0	2.4
Leche (lb/d)	48.1	50.5	56.9	61.9	3.1 <sup>a</sup>
Grasa láctea (lb/d)	4.81	2.05	2.07	2.47	0.31 <sup>a</sup>
Proteína láctea (lb/d)	1.61	1.76	1.87	2.07	0.22 <sup>a</sup>
LCE (l/d)	51.4	52.7	59.1	67.2	3.1 <sup>a</sup>

LCE: leche corregida por energía

<sup>a</sup> Respuesta lineal (P<0.01)

MS: materia seca

Tomado de: Bernard, (2003).

Existen criterios diferentes sobre la inclusión de enzimas fibrolíticas durante el proceso de ensilaje, y se registran variaciones acordes con la especie de forraje y tipo de enzima utilizados, y con el balance energético del animal en el momento de ofrecer el producto. Aunque a nivel nacional es relativamente baja la utilización de estas enzimas, también es escasa la asistencia técnica y/o seguimiento de los diferentes productos comerciales que incluyen enzimas solas o en mezcla con cultivos microbiales para demostrar los efectos benéficos y justificar la inversión económica de su inclusión. Después de conocer la potencialidad del líquido ruminal para el proceso, y los aislamientos de microorganismos y algunas enzimas, se hace necesario el desarrollo de investigaciones sobre el efecto de enzimas y extractos nativos y/o producidos en diferentes regiones del país, que permitan obtener resultados confiables sobre su inclusión en procesos de conservación con forrajes diversos (gramíneas y leguminosas) de diferentes pisos térmicos, ya que existe gran variabilidad en composición química y/o calidad nutricional, representada básicamente por los niveles de pared celular, proteína y energía.

Aunque se continúa trabajando sobre fermentación láctica y su optimización, se resalta la importancia de la estabilidad del producto después de la apertura del silo; de esta manera, se generan estrategias para incrementar el nivel de ácidos orgánicos en la masa ensilada, por su efecto negativo sobre crecimiento de microorganismos involucrados en el deterioro aeróbico. A pesar de estos desarrollos, la estabilidad aeróbica no recibe esta importancia a nivel nacional, siendo necesaria la implementación de estrategias para estimación de este indicador y de las poblaciones de microorganismos contaminantes en diferentes pisos térmicos y con diferentes forrajes.

Mientras que en algunos países tropicales se realizan esfuerzos para producir inóculos específicos, con microorganismos tolerantes a altas temperaturas y a altos niveles de ácidos que garanticen la calidad del producto, en nuestro país no se desarrolla actividad alguna en este aspecto. Sin embargo, sería importante su implementación, al considerar las grandes extensiones en forrajes de trópico bajo existentes y las necesidades de forraje ensilado para atenuar los efectos de periodos secos y disminuir costos de alimentación.

Además de la necesidad de un balance de nutrientes para garantizar el proceso

de fermentación con niveles máximos de ácido láctico, óptimo pH y mínimo nitrógeno amoniacal, se requiere también un adecuado balance en la dieta de los animales que consumen el producto. De esta manera, se hace énfasis en arreglos y/o mezclas a nivel de finca que combinen diferentes forrajes (principalmente gramíneas y leguminosas), que corrigen las deficiencias nutricionales de las gramíneas tropicales tradicionales, aprovechando al mismo tiempo las bondades de las leguminosas para mejorar la sostenibilidad de las explotaciones. Aunque los progresos en este aspecto son mayores a nivel de clima cálido, son promisorios los avances obtenidos en clima frío.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Ashbell, G.; Weinberg, Z.G. 1998.** Ensilaje de cereales y cultivos forrajeros en el trópico. Agricultural Research Organization. The Volcani Center. Israel ([www.fao.org](http://www.fao.org)).
- Beauchemin, K.A.; Colombatto, D.; Morgavit, D.P.; Yang, W. 2003.** Use of exogenous fibrolytic enzymes to improve feed utilization by ruminants. *Journal Animal Science* 81 (E. Suppl. 2) E37-E47.
- Beauchemin, K.A.; Rode, L.M.; Maekawa, M.; Morgavi, D.P.; Kampen, R. 2000.** Evaluation of a nonstarch polysaccharidase feed enzyme in dairy cows diets. *J. Dairy Science* 83:543.
- Bernard, J.K. 2003.** Feeding Ryegrass silage in the South East US. *Proceeding 2004 Florida Dairy Production Conference 40st Conference*. April 29-30 2003.
- Blanco, G.M. 2004.** Evaluación nutricional y predicción de la respuesta de bovinos lecheros aplicando el modelo CNCPS en el ensilaje de *Sambucus peruviana*, *Acacia decurrens* y *Avena sativa*. Facultad de Zootecnia. Fundación Universitaria Agraria de Colombia. Tesis de Pregrado.
- Colombatto, D.; Mould, F.L.; Bhat, M.K.; Morgavi, D.P.; Beauchemin, K.A.; Owen, E. 2003.** Influence of fibrolytic enzymes on the hydrolysis and fermentation of pure cellulose and xylan by mixed ruminal microorganisms in vitro. *J. Animal Science* 81: 1040.
- Colombatto, D.; Beauchemin, K.A.; Grigera, J.J. 2003.** Suplementación con enzimas fibrolíticas: el futuro en nutrición de bovinos? *Fyo.com-Hacienda* (revisado: enero 12, 2005).
- Cotrino, V.; Afanador, G.; Serrano, J.; Velandia, I.; Piñate. 2002.** Lechería en la región Andina: algunos aspectos de producción, salud animal y salud pública. <http://capra.iespana.es/datos/andes.html> (revisado: febrero 2,2005).
- González, J.; Benavides, J.; Rómulo, M.; Esperance, M. 2002.** Evaluación de la calidad nutricional de la morera (*Morus sp.*) ensilada, con bovinos de engorde. Tesis Postgrado. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Hoffman, P. y Muck, R. 1999.** Adding enzymes to silage. *Focus on Forage* vol. 1, No. 4. p.1
- Holmes, B. y Muck, R. 1999.** Factors affecting bunker silo densities. *Dairy Forage Center*. USDA.
- Hristov, A.N. y McAllister, T.A. 2002.** Effect of inoculants on whole-crop barley silage fermentation and dry matter disappearance in situ. *J. Animal Science* 80:510
- Kung, L.; Taylor, C.C.; Lynch, M.P.; Neylon, M. 2003.** The effect of treating alfalfa with *Lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability and nutritive value for lactating dairy cows. *J. Dairy Science* 86:336
- Kung, L. y Shaver, R. 2001.** Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on Forage. Agricultural & Life Sciences*. Madison. V.3, No.13.
- Kung, L. Jr. 1999.** A review on silage additives and enzymes. *Animal and Food Sciences*. College of Agriculture and Natural Resources. University of Delaware. Newark
- Lewis, G.E.; Hunt, C.W.; Sánchez, W.; Treacher, R.; Pritchard, G.T.; Feng, P. 1996.** Effect of direct fed fibrolytic enzymes on the digestive characteristics of a forage based diet fed to beef steers. *J. Animal Science*. 74:3020
- Martín, E.; Rodríguez, F.; Cañón, S.; Mayorga, O.; Arcos, M.L.; Ossa, F.; Arreaza, L.C.; Rodríguez, J.; Montes, M.I. 2003.** Avances para el conocimiento de microorganismos ruminales asilados de bovinos de las razas criollas colombianas. *Revista Col. de Ciencias Pecuarias* v. 16; Suplemento 2003. pp. 54.
- McAllister, T.A.; Oosting, S.J.; Popp, J.D.; Mir, Z.; Yanke, L.J.; Hristov, A.N.; Treacher, R.J.; Cheng, K.J. 1999.** Effect of exogenous enzymes on digestibility of barley silage and growth performance of feedlot cattle. *Canadian J. of Animal Science* 79(3).
- McCormick, M.E.; Beatty, J.F.; Gillespie, J.M. 2002.** Ryegrass Bale Silage Research and Management Practices. Southeast Research Station, Franklinton, La. Research Summary Number 144.
- Michelena, J.B.; Senra, A.; Fraga, C. 2002.** Efecto de la aplicación de ácido fórmico, propiónico y del presecado en el valor nutritivo del ensilaje de King grass (*Pennisetum purpureum*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. T. 36(3): 241.
- Moshtaghi Nia, S.A.; Wittenberg, K.M. 1999.** Use of forage inoculants with or without enzymes to improve preservation and quality of whole crop barley forage ensiled

as large bales. *Canadian J. Animal Science* 79:525.

**Muck, R. 2002.** Effects of corn silage inoculants on Aerobic Stability. 2002 ASAE Annual International Meeting/CIGR XVth World Congress. Chicago Illinois, USA. July 28-31.

**Muck, R. 1996.** Inoculation of silage and its effects on silage quality. Informational Conference with Dairy and Forage Industries. US Dairy Forage Research Center. p. 43.

**Muhlbach, P. 2000.** Uso de aditivos para mejorar el ensilaje de los forrajes tropicales. En: *Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Memorias de la Conferencia electrónica de la FAO sobre el ensilaje en los Trópicos. Estudio 9.* 1-15 diciembre, 2000.

**Muhlbach, P. 1999.** Uso de aditivos para mejorar el ensilaje de los forrajes tropicales. Universidad Federal Rio Grande del Sur. Porto Alegre. Brasil [www.pasturasdeamerica.com](http://www.pasturasdeamerica.com) (revisado: marzo 22, 2005).

**Pinos-Rodríguez, J.M.; González, S.S.; Mendoza, G.D.; Bárcena, R.; Cobos, M.A.; Hernández, A.; Ortega, M.E. 2002.** Effect of exogenous fibrolytic enzyme on ruminal fermentation and digestibility of alfalfa and ryegrass hay fed to lambs. *J. Animal Science* 80: 3.016.

**Rode, L.M.; Yang, W.Z.; Beauchemin, K.A. 1999.** Fibrolytic enzyme supplements for dairy cows. *J. Dairy Science* 82: 2.121.

**Rees, T.J. 1997.** The development of a novel antifungal silage inoculant. Review of literature. Doctoral Research Thesis. Cranfield University Biotechnology Centre, U.K. 32 p.

**Sánchez, L. 2004.** Nuevas estrategias para conservación de forrajes en el trópico. Primera Reunión de la Red Temática de Recursos Forrajeros. CORPOICA, Tibaitatá. Memorias. Mosquera, Junio 2004. 15 p.

**Sánchez, L.; García, G. 2003.** Mejoramiento de la competitividad de los sistemas de producción de caña panelera del occidente de Cundinamarca mediante la integración de fuentes proteicas alternativas en producciones complementarias de bovinos y porcinos. Informe Técnico Convenio PRONATTA-CORPOICA. 60 p.

**Sánchez, L.; Báez, F. 2002.** Conservación de forrajes en sistemas de producción bovina del trópico de altura. En: *Alternativas tecnológicas para la producción competitiva de leche y carne en el trópico bajo. Plan de Modernización de la Ganadería Bovina Colombiana.* CORPOICA, MADR, FEDEGAN, Fondo Nacional del Ganado. p. 17.

**Sánchez, L.; Mejía, S.; Jiménez, F.; Echeverri, J.; Jaramillo, F. 2002.** Conservación de forrajes en sistemas de producción bovina del trópico bajo. En: *Alternativas tecnológicas para la producción competitiva de leche y carne en el trópico*

bajo. Plan de Modernización de la Ganadería Bovina Colombiana. CORPOICA, MADR, FEDEGAN, Fondo Nacional del Ganado. p. 20

**Sánchez, L. 2000.** Alternativas de utilización de ensilajes en explotaciones lecheras de trópico alto. Carta Fedegan. Bogotá, septiembre-octubre 2000. No. 64. pp. 44-51.

**Sánchez, L.; García, G.; Albarracín, L.C. 2000.** Evaluación de sistemas de alimentación en bovinos y porcinos con base en subproductos de la caña para panela. Una alternativa para pequeños productores en el departamento de Cundinamarca. Cartilla Técnica. PRONATTA - CORPOICA. Bogotá. 22 p.

**Sánchez, L.; García, G.; De la Torre, L.F. 1999.** Ensilaje como alternativa sostenible para la producción bovina en las áreas rurales del Distrito Capital. Cartilla Técnica. Convenio DAMA - CORPOICA. Bogotá. 29 p.

**Sánchez, L.; Londoño, C.E. 1992.** Ensilaje en la alimentación de rumiantes. En: *Especies forrajeras para Colombia.* ICA Regional 1. Bogotá. Julio 1992. p. 164.

**Sánchez, L. y Díaz, T. 1986.** Ensilaje como método de conservación forrajera. En: *Seminario Nacional sobre Producción de Ganado Lechero en zonas frías.* ICA Pasto. Julio 1986. pp. 254-292

**Titterton, M.; Mhere, O.; Kipnis, T.; Ashbell, G.; Weinberg, Z.G.; Maasdorp, B.V. 1999.** Desarrollo de técnicas de ensilado para pequeños ganaderos en Zimbabwe. FAO Electronic Conference on Tropical Silage. Department of Animal Sciences. University of Zimbabwe. Harare, Zimbabwe.

**Uribe, A. 2002.** Silos líquidos. En: *Curso y manejo integrado de pastos y conservación de forrajes.* SENA, ANALAC, SAC. Memorias técnicas. Bogotá. p. 84.

**Wallace, R.J.; Wallace, S.J.A.; McKain, N.; Nserebo, V.L.; Hartnell, G.F. 2001.** Influence of supplementary fibrolytic enzymes on the fermentation of corn and grass silages by mixed ruminal microorganisms in vitro. *J. animal Science* 79: 1905.

**Weinberg, Z.G.; Chen, Y.; Gamburg, M. 2004.** The passage of lactic acid bacteria from silage into rumen fluid, in vitro studies. *J. Dairy Science* 87: 3.386.

**Weiss, B. 1996.** When to consider Silage additives. Tri-State Dairy Nutrition Conference. pp. 125-135.