

CAPÍTULO XX

ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA UTILIZACIÓN DIGESTIVA DE FORRAJES TROPICALES DE BAJA CALIDAD

- I. INTRODUCCIÓN
- II. VALOR NUTRITIVO DE LOS FORRAJES TROPICALES
- III. DEGRADACIÓN MICROBIANA DE LOS FORRAJES
- IV. ESTRATEGIAS PARA MEJORAR EL APROVECHAMIENTO
DE LOS FORRAJES DE BAJA CALIDAD
- V. TRATAMIENTOS QUÍMICOS
- VI. AMONIFICACIÓN SECA
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. LITERATURA CITADA

**Alirio Barrios
Max Ventura
Manuel Fondevila**

I. INTRODUCCIÓN

Debido a su abundancia y bajo costo, los forrajes representan la principal fuente de alimentación de los rebaños de rumiantes en las regiones tropicales. No obstante, las condiciones climatológicas adversas bajo las cuales estos se desarrollan, principalmente durante la época seca, determinan la presencia de estructuras de defensa y el incremento de determinados compuestos en los forrajes, que limitan su utilización por parte de los microorganismos que habitan en el rumen [40]. Esta limitación reduce la ingestión del forraje, la eficiencia de utilización del mismo y por ende, el aporte de nutrientes a los rumiantes hospedadores, por lo que en muchos casos resulta imprescindible aplicar una serie de medidas correctivas a fin de favorecer su utilización y por tanto mejorar los índices productivos del rebaño.

II. VALOR NUTRITIVO DE LOS FORRAJES TROPICALES

Los forrajes de baja calidad se caracterizan por tener un alto contenido de polisacáridos estructurales (celulosa y hemicelulosa) y de lignina, pudiendo los primeros ser parcialmente utilizados por los rumiantes debido a su simbiosis con los microorganismos del rumen [47]. La mayor o menor proporción de dichos componentes y su impacto sobre la digestibilidad, son también afectadas por las condiciones del medio ambiente (temperatura, humedad, etc.), bajo las cuales ellos crecen.

Las gramíneas contienen, en la materia seca, 20-30% de celulosa, 14-20% de hemicelulosa y hasta un 10% de pectinas, además de 2-12% de lignina [5]. Es conocido que la fracción indigestible de la fibra está relacionada con el contenido de lignina de los forrajes, razón por la cual, los procesos de delignificación (químicos, físicos ó biológicos) mejoran su fermentación. Además, la lignina forma complejos muy resistentes con la hemicelulosa, lo que contribuye a limitar la degradación de las estructuras fibrosas [6].

La baja digestibilidad y bajo valor nutritivo de los pastos tropicales comparados con los de clima templado, puede ser atribuida en mayor parte a un contenido elevado de pared celular. Los contenidos celulares son fácilmente digeridos (usualmente sobre un 90% de digestibilidad), mientras que las paredes celulares tienen una baja y variable digestibilidad dependiendo de su estructura. En adición a esta baja digestibilidad de la materia orgánica, el alto contenido de fibra reduce la ingestión voluntaria, debido al incremento del llenado del rumen y a la reducción de la tasa de pasaje de la digesta [25].

III. DEGRADACIÓN MICROBIANA DE LOS FORRAJES

La degradación microbiana se refiere a la desaparición o fermentación de los constituyentes nutricionales de los alimentos, producto de la acción enzimática de los microorganismos del rumen. La pared celular representa el principal componente vegetal que ofrece resistencia a los sistemas enzimáticos digestivos de los animales, siendo las enzimas capaces de degradar celulosa, hemicelulosa o lignina prácticamente inexistentes en las secreciones digestivas de la mayoría de los animales superiores [40].

Por ello, la capacidad animal para utilizar dichos compuestos dependerá de la capacidad de algunos microorganismos para degradarlos (bacterias, hongos y protozoos) y de la posibilidad del herbívoro hospedador para adoptar una población de ese tipo y aprovechar esos microorganismos y los productos derivados de la fermentación. En esencia, el animal provee de un medio ambiente confortable para el desarrollo de los microorganismos, y éstos digieren los carbohidratos estructurales del forraje, con lo que suplen de energía al hospedador. La digestión de la pared celular vegetal es comúnmente considerada como la principal función del rumen, siendo los microorganismos que habitan en éste los agentes responsables de la digestión de los carbohidratos complejos constituyentes de tales paredes [11].

El pH, que es una de las condiciones del ambiente ruminal más determinantes para la población microbiana, se mantiene relativamente constante (6-7), debido al efecto neutralizador de la saliva y a que los ácidos producidos en la fermentación son absorbidos en gran medida a través de las paredes del rumen [40]. Niveles apropiados de amoníaco, ácidos grasos ramificados, vitaminas y minerales son requeridos por las bacterias para su normal crecimiento, principalmente por las bacterias celulolíticas. Normalmente el fluido ruminal contiene estos nutrientes en cantidades apropiadas para garantizar la satisfacción de las necesidades, aunque en dietas a base de forrajes de baja calidad, muchos de estos nutrientes pueden ser deficitarios, principalmente los minerales (P, S, Mg) y el amoníaco, por lo que dicha actividad podría verse restringida [13].

IV. ESTRATEGIAS PARA MEJORAR EL APROVECHAMIENTO DE LOS FORRAJES DE BAJA CALIDAD

Como se discutió en los apartados anteriores, la baja calidad de los forrajes tropicales y en especial en época seca, determinan la necesidad de implementar prácticas alimenticias que tiendan a mejorar la utilización de dicha fuente de alimento. Una de las estrategias que principalmente se emplea es la suplementación, bien sea empleando alimentos concentrados, subproductos agroindustriales o materias primas autóctonas.

En relación con la suplementación hay que distinguir entre una suplementación complementaria (normalmente con alimento concentrado) con la que se intenta cubrir el déficit de nutrientes no aportado por el forraje y la suplementación catalítica (melaza-urea, bloques, yacija, etc.) que busca mejorar las condiciones del ambiente ruminal con el fin de maximizar el aprovechamiento de los forrajes.

Otra alternativa que puede mejorar la utilización de los forrajes de baja calidad es la aplicación de tratamientos físicos, químicos y/o biológicos que intentan mejorar directamente el valor nutritivo del forraje. Puesto que en capítulos de ediciones anteriores [44, 42], ya hemos discutido distintas estrategias de suplementación empleadas *para mejorar la utilización digestiva de forrajes tropicales*, este Capítulo lo dedicaremos principalmente al estudio de técnicas que permiten mejorar el valor nutricional de los forrajes.

1. Suplementación de los forrajes de baja calidad

Debido al bajo valor nutritivo de los forrajes tropicales en la época seca, las dietas basadas en su utilización deben ser suplementadas con otros alimentos que cubran sus deficiencias, principalmente en energía y proteína para lograr mantener niveles de producción aceptables. El objeto de la suplementación debe ser la inclusión de cantidades razonables de otros alimentos para maximizar la utilización del alimento basal, más barato, y aumentar la productividad [21].

a. Suplementación energética

Con relación al efecto positivo o negativo de la suplementación con carbohidratos, se han discutido hipótesis contrastantes en especial sobre la digestión y degradación de los materiales lignocelulósicos. En cualquier caso, el efecto positivo o negativo de la suplementación dependerá principalmente de la proporción y tipo de carbohidrato utilizado como suplemento, así como, de la calidad del forraje empleado como alimento base [3].

La respuesta en la digestión del forraje a su suplementación está determinada por la cantidad del suplemento incluido en la dieta, pudiendo registrarse una mejora de su digestión con el aporte de pequeñas cantidades de carbohidratos [34]. Las bacterias con un ritmo lento de crecimiento requieren altos niveles de energía para su mantenimiento, por lo que los bajos niveles nutricionales de los forrajes tropicales reducen el crecimiento bacteriano, limitando así el ritmo y tasa de digestión ruminal. Por tal motivo, la adición de pequeñas cantidades de carbohidratos fácilmente degradables (inferiores al 20% de la ración) podría estimular la digestión bacteriana [36, 16].

Otro factor que debe tomarse en cuenta es el tipo de carbohidrato empleado como suplemento. En este sentido se han encontrado diferencias en el origen del almidón utilizado, lográndose descensos de pH menos bruscos y por ende afectando menos la actividad celulolítica de los microorganismos del rumen cuando el mismo proviene del maíz y sorgo que de la cebada y el trigo [32]. Alimentos ricos en pectinas (carbohidrato altamente fermentable) como la pulpa de cítricos, remolacha y parchita, tienen efectos positivos sobre la fermentación de los forrajes, puesto que forman un ambiente ruminal más adecuado para los microorganismos del rumen [2].

b. Suplementación proteica

La mayoría de las bacterias celulolíticas requieren amonio (NH_3) como fuente de nitrógeno (N), para la incorporación en la proteína celular [17]. Aproximadamente el 80% de las bacterias del rumen, entre ellas las de los géneros *Ruminococcus* y *Bacteroides*, responsables de gran parte de la actividad celulolítica, pueden crecer con amoníaco como única fuente de N, aunque sólo el 25% dependan estrictamente del NH_3 [41]. El amonio es obtenido por la desaminación de los aminoácidos del alimento y de las proteínas endógenas o por la degradación del nitrógeno no proteico (tales como la urea), provenientes de la dieta o de origen endógeno [33].

Entre las principales opciones de suplementación proteica empleados en nuestras condiciones se encuentran el uso de mezclas de melaza-urea, bien en solución ofertada directamente al animal o mediante el empleo de lamederos o bloques nutri-

cionales para regular su consumo, además de la yacija o cama de pollos y algunas leguminosas arbustivas, cuyas características y recomendaciones han sido detalladas [44].

2. Estrategias para mejorar de la calidad de los forrajes conservados

Una de las estrategias que se han empleado para intentar mejorar el valor nutritivo de los forrajes ha sido la aplicación de tratamientos físicos, químicos y biológicos con el fin de incrementar su digestibilidad y la ingestión voluntaria por los animales, principales factores limitantes de su utilización eficiente.

a. Tratamientos físicos

Con relación a los tratamientos físicos, quizás el método de tratamiento más simple y utilizado sea la disminución del tamaño de partícula del forraje, mediante el repicado. Este repicado aumenta considerablemente su consumo, siendo la mejora inversamente proporcional a la calidad del forraje. El aumento en la ingestión es debido en parte al incremento de la densidad del alimento y en parte a la reducción del tiempo de masticación y rumia requerido para disminuir el tamaño del material ingerido lo suficiente como para poder pasar el orificio retículo-omasal [45]. Estos factores reducen el tiempo de retención de las partículas en el rumen, además de reducir el material rechazado, al impedir la selección en la ingestión [28]. No obstante, este incremento en la ingestión está supeditado al tamaño de partícula resultante, a la proporción del forraje en la dieta y al tipo de animal que la consume.

El aumento de la ingestión propiciada por el repicado puede alcanzar entre el 25-30%, aunque han sido reportados incrementos superiores al 72% en materiales de muy baja calidad. En general, se recomienda tanto para el ganado ovino como en el vacuno, un tamaño de repicado entre los 2 y 4 cm [8].

La disminución del tamaño de partícula del alimento puede tener, sin embargo, un efecto negativo sobre el valor nutritivo del heno en lo referente a su digestibilidad. Si bien el picado grosero de los forrajes y pajas no parecen deprimir su digestibilidad, este efecto negativo se evidencia con un repicado muy fino. Esta respuesta está motivada por el menor tiempo de permanencia de las partículas de alimento en el rumen, y por la depresión del pH y de las condiciones celulolíticas del rumen provocados por el descenso en la salivación que provoca el menor tiempo de masticación [20].

b. Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos están basados principalmente en la utilización de microorganismos con capacidad de degradar la lignina, pero con una mínima acción sobre celulosas y hemicelulosas, para evitar una pérdida de materia orgánica potencialmente degradable por los microorganismos del rumen. Algunas especies de hongos, levaduras e incluso algunas bacterias tienen esta aptitud. Mención especial merecen las especies de hongos de la putrefacción blanca ("white rot fungi"), que descomponen la lignina y, sólo parcialmente, otros sustratos fibrosos, aumentando la digestibilidad del material tratado. El grado de mejora en la digestibilidad depende de la especie de hongo, el tiempo y temperatura de cultivo, la relación agua:aire en el sustrato y la densidad y composición de éste [48].

Se han encontrado aumentos en la digestibilidad "in vitro" de hasta 30 u.p., aunque con pérdidas entre 1 y 20% de MS [48]. Aunque hasta ahora sólo se ha obser-

vado bajo condiciones de laboratorio, estos sistemas no han encontrado todavía una aplicación práctica a gran escala, pero son considerados como muy prometedores de cara al futuro, a la espera de nuevos avances en las técnicas químicas y de ingeniería genética.

El pre-tratamiento de los forrajes con enzimas que degraden los componentes de la pared celular ha sido estudiado por algunos autores [39, 26, 27], unido o no a otros tipos de procesado (ensilado, tratamiento con NaOH). La poca o nula respuesta en la digestibilidad obtenida ha restado interés a su aplicación práctica.

c. Tratamientos químicos

Las primeras referencias del empleo de agentes químicos para mejorar el valor nutritivo de los forrajes de baja calidad aparecen en Alemania a finales del siglo 19, empleando soluciones de hidróxido sódico o cálcico, asociadas o no a procesos de cocción [18]. Actualmente se han desarrollado nuevos sistemas, con álcalis o con otros agentes químicos, que se han extendido por todo el mundo, sufriendo modificaciones en función de las condiciones de aplicación en cada lugar. En el Cuadro 1 se presenta una relación de los distintos compuestos químicos que se han estudiado y empleado para la mejora del valor nutritivo de los productos lignocelulósicos.

El tratamiento de alimentos lignocelulósicos con agentes químicos tiene por objeto romper, al menos parcialmente, las estructuras de la pared celular vegetal y los enlaces existentes entre ellas, aumentando la cantidad de nutrientes solubles y permitiendo el acceso de los microorganismos ruminales a las estructuras insolubles pero potencialmente degradables. Un esquema del mecanismo de acción de los distintos agentes empleados se presenta en la Figura 1.

V. TRATAMIENTOS QUÍMICOS

En este Apartado se describirán especialmente los tratamientos más empleados y con los que se ha obtenido mayor respuesta, como son los de hidróxido sódico y amoníaco, además del tratamiento con urea, que parece presentarse como una alternativa a los anteriores, principalmente en regiones tropicales.

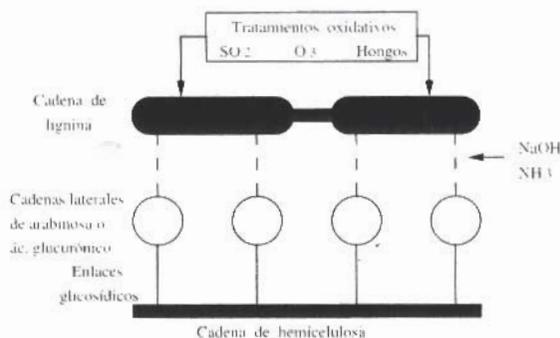
El tratamiento con hidróxido sódico (NaOH) consiste en el tratamiento por inmersión del forraje, en una solución al 1.5% de NaOH durante 3 días, seguido de sucesivos lavados con agua. Aunque los incrementos en la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) obtenidos rondan las 20 u.p., los lavados arrastran hasta el 15-20% del material inicial. Por ello, y debido al elevado gasto de NaOH y al alto poder contaminante del agua de lavado, no es utilizado en la actualidad [14]. Posteriormente se desarrollaron nuevos sistemas de tratamiento con soluciones acuosas de NaOH en los que, al no someter el alimento a lavados posteriores, se evitaban los problemas citados del método anterior, aunque los efectos sobre la digestibilidad fueran algo menores [18].

Los beneficios de la aplicación de amoníaco sobre el valor nutritivo de los materiales lignocelulósicos se conocen desde los años 50, pudiéndose concretar en tres efectos fundamentales: el aporte al rumen de una fuente adicional de nitrógeno no proteico (NNP), el aumento de digestibilidad que promueve el tratamiento y el aumento del consumo de materiales lignocelulósicos que provoca [37].

CUADRO 1. Agentes químicos investigados para mejorar la calidad de las pajas [29]

Tipo de Agente	Compuesto	Formula química	
Alcalis	Hidróxido amónico (amoníaco, urea)	NH_4OH (NH_3 , $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)	
	Hidróxido cálcico	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	
	Hidróxido potásico	KOH	
	Hidróxido sódico	NaOH	
Acidos	Acético + propiónico + butírico	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{COOH} + \text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$	
	Ac. fórmico	HCOOH	
	Ac. propiónico	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	
	Ac. clorhídrico	ClH	
	Ac. ortofosfórico	PO_4H_3	
	Ac. sulfúrico	SO_4H_2	
Sales	Bicarbonato amónico	CO_3HNNH_4	
	Bicarbonato sódico	CO_3HNa	
	Carbonato sódico	CO_3Na_2	
	Cloruro sódico	ClNa	
Agentes oxidantes:			
	- clorados	Hipoclorito cálcico	$(\text{ClO})_2\text{Ca}$
		Hipoclorito sódico	ClONa
		Cloro	Cl_2
		Dióxido de cloro	ClO_2
		Clorato potásico	ClO_3K
		Clorito sódico	ClO_2Na
	- azufrados	Bisulfito sódico	SO_2HNa
		Sulfuro sódico	S_2Na
		Dioxido de azufre	SO_2
	- otros oxidantes	Peróxido de hidrógeno	H_2O_2
		Ozono	O_3
		Peróxido sódico	Na_2O_2
Surfactantes	Ac. etilendiaminotetracético (EDTA)	—	
	Sodio lauril sulfato	$\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$	
	Agua	H_2O	

Figura 1. Esquema de los efectos de los tratamientos químicos empleados para aumentar la degradación de las estructuras de la pared celular vegetal [15]



La técnica más utilizada en los países desarrollados consiste en la aplicación de NH_3 anhidro al 3 ó 4% en peso en las pacas cubiertas por una lámina de polietileno durante al menos 8 semanas. Una humedad del material a tratar del 15-20% favorece la acción del tratamiento, pero puede ocasionar problemas de mala distribución del álcali y de contaminaciones posteriores con hongos [37]. Una vez finalizado el proceso, se abren las pacas y se dejan airear, para eliminar el amoníaco no ligado al heno. Las repercusiones del tratamiento con amoníaco sobre la composición química del forraje se centran en dos aspectos: la variación de su contenido en N y las modificaciones que sufre la pared celular vegetal. La magnitud de la respuesta depende no sólo de la calidad del tratamiento, sino también del valor nutricional del forraje tratado.

En cuanto a las modificaciones que el tratamiento provoca sobre la composición de la pared celular, numerosos autores han observado ligeros descensos en la proporción de FND del heno tras su tratamiento con NH_3 , debidos a la solubilización parcial de hemicelulosas [41, 24]. No obstante el efecto más significativo del tratamiento con álcalis sobre la pared celular es la ruptura de algunos enlaces entre las unidades de lignina, con la consiguiente liberación los polisacáridos potencialmente utilizables por los microorganismos del rumen [22]. El efecto del NH_3 no sólo se manifiesta sobre su composición química. El tratamiento proporciona un color dorado al forraje tratado, a la vez que reduce la aspereza de éste y, simultáneamente, provoca una hinchazón de la pared celular aumentando su palatabilidad y, como consecuencia, su consumo [37]. También le atribuyen un aumento de la fragilidad del heno, que le proporciona una mayor densidad en el rumen al disminuir el tamaño de sus partículas [49].

El efecto del tratamiento sobre la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) es altamente variable, respondiendo a diferencias en la calidad del forraje a tratar, en la dosis empleada, en la humedad del material a tratar, en el contenido en agua del tratamiento, si es acuoso, en la temperatura ambiental en el momento de procesado y en la duración del tratamiento [35]. También los incrementos de la DMO presentan una gran variabilidad, explicada en buena parte por el primero de los factores anteriormente comentados, la DMO original del material a tratar. Los incrementos en la DMO oscilan entre 14.5 y 6.3 u.p. al comparar forrajes con una DMO inicial del 30 y 60%, respectivamente [9].

En función de los consumos observados en los experimentos revisados para vacuno y ovino, se puede considerar un aumento medio del consumo de forrajes debido al tratamiento con NH_3 del 25 y del 35% en dichas especies, respectivamente. Estos aumentos en la ingestión son motivados fundamentalmente por la mayor degradabilidad de la materia orgánica (MO) del heno en el rumen cuando ha sido tratada previamente, pero también por la reducción del tiempo de permanencia de las partículas en el rumen [14].

En general, el tratamiento con NH_3 origina respuestas algo menores en la DMO y en la ingestión voluntaria que el tratamiento con NaOH [15], pero presenta algunas ventajas respecto a éste, ya que supone un aporte de nitrógeno utilizable por los microorganismos ruminales; es menos contaminante y posee un claro efecto antifúngico, que favorece la conservación del material tratado [38]. Como inconvenientes, se puede señalar que el agente químico es caro y que el uso de láminas de polietileno encarece aún más los costes, al igual que los contenedores especiales necesarios para el manejo del NH_3 anhidro. Por otra parte, se deben tomar importantes precauciones para evitar intoxicaciones en animales alimentados con forrajes tratados con NH_3 . Los síntomas coinciden con un cuadro de hiperexcitabilidad, pudiendo acabar con la muerte del animal [30].

Al parecer, sin exclusión de otros factores, el tóxico responsable es el 4-metilimidazol, que se produce debido a reacciones de Maillard entre el NH_3 y los azúcares solubles del material tratado, favorecidas por las altas temperaturas en el interior de la pila durante el proceso de amonificación, que en algunos casos pueden superar los 70°C . Aunque el contenido en azúcares solubles de los forrajes suele ser bajo, en casos de deficientes condiciones de cultivo o en cosechas inmaduras, éste, puede ser suficiente para provocar la formación del tóxico [31]. Es importante considerar que el 4-metilimidazol puede ser también transportado a través de la leche, pudiendo provocar intoxicación en animales lactantes o incluso en humanos [14].

Otro tratamiento químico actualmente empleado es el rociado de las pacas con soluciones de urea, aprovechando la capacidad de ésta de ser descompuesta en presencia de ureasas, transformándose en amoníaco y dióxido de carbono. Aunque los resultados obtenidos son muy variables, algunos datos muestran incrementos en el valor nutritivo similares a los de otros álcalis, siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones ambientales de humedad y temperatura [7].

Este método es similar al utilizado para el tratamiento con NH_3 acuoso, empleando una dosis de urea entre 3 y 6%. Las condiciones ambientales y de tratamiento bajo las cuales se lleva a cabo el proceso (humedad, temperatura, dosis de urea, actividad ureásica) son determinantes de los resultados alcanzados [14]. Altos niveles de humedad (entre 25 y 60%) incrementan el efecto del tratamiento, aunque pueden dificultar el manejo del forraje tratado [1, 23]. Al parecer las bajas temperaturas deprimen la reacción o incluso la paralizan, y por encima de los 35°C la actividad ureásica se reduce. A pesar de la dispersión en la información publicada en cuanto a las condiciones de tratamiento, se podría considerar óptima una temperatura que oscile entre 15 y 30°C [12], un contenido en humedad del 25-30% y una dosis de urea de 3-4% [19].

Los efectos del tratamiento con urea sobre el valor nutritivo de los forrajes son muy variables, pero en general se encuentran aumentos de digestibilidad. Esto, unido a su bajo

coste, lo presenta como una alternativa al NaOH y NH_3 , siempre que se cuente con las condiciones ambientales idóneas. En el Cuadro 2 se presenta una comparación entre la aplicación de distintos tratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos.

VI. AMONIFICACIÓN SECA

Mientras en países desarrollados se utiliza el nitrógeno anhidro en estado gaseoso como fuente de amoníaco, en nuestro medio se ha empleado el rociado o inmersión de pacas de heno en soluciones a base de urea. El primer método es más efectivo, sin embargo, su elevado costo y requerimiento de recipientes especiales para su almacenamiento, ha dificultado su empleo como estrategia económicamente viable para nuestros sistemas de producción. Con relación al uso de soluciones de urea, a pesar de su bajo costo y facilidad para conseguir los insumos requeridos, su aplicación en nuestro país ha quedado restringido a los ensayos realizados en los centros de investigación y universidades [4a].

Quizás las dificultades en el manejo para garantizar uniformidad en el humedecimiento del material, lo que conlleva a riesgos de toxicidad por diferencias en la concentración de nitrógeno en las pacas tratadas, la proliferación de hongos en las pacas como producto de la elevada humedad o la falta de un paquete tecnológico confiable y de fácil aplicación que permitan promover su empleo a nivel de productores, han propiciado la baja aplicación de tan prometedor práctica en nuestros sistemas de producción de rumiantes.

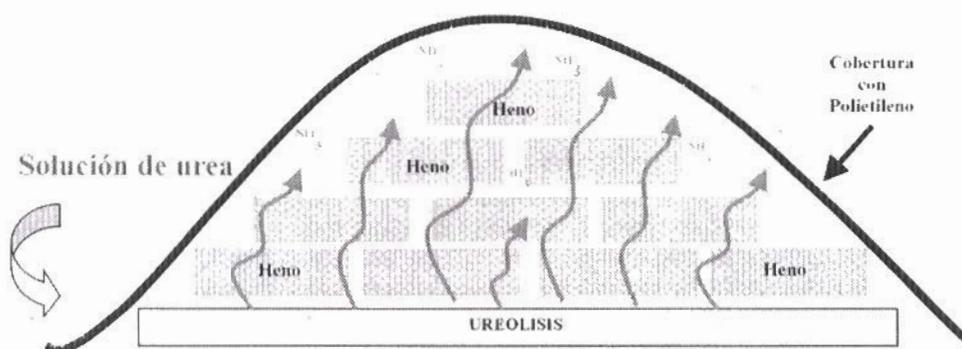
Ante las dificultades de manejo antes comentadas, se ha desarrollado en la Hacienda "La Esperanza" de la Universidad del Zulia, una técnica denominada "amonificación seca", que combina las propiedades de las dos metodologías anteriormente comentadas, puesto que se emplean los vapores generados por la hidrólisis de la urea sin necesidad de humedecer las pacas, evitándose así, los problemas de manejo y de proliferación de hongos antes expuestos [4].

CUADRO 2. Digestibilidad de la materia seca (%) de paja de cebada no tratada o tratada químicamente por distintos métodos, medida "in vivo", "in vitro" o "in sacco" a las 48 horas de incubación [46]

Tratamiento	"in vivo"	"in vitro"	"in sacco"
No tratada	50,8	42,2	41,4
Urea	53,4	46,9	46,8
Urea + ureasa	57,2	49,3	50,0
NH_3 anhidro (pila)	65,7	56,1	56,7
NH_3 acuoso (pila)	63,7	58,0	61,6
NH_3 anhidro (horno)	60,9	55,9	59,7
NaOH (método Beckmann)	72,8	69,2	78,1
NaOH (via húmeda)	72,0	69,0	74,9
NaOH ("dip treatment")	74,8	65,5	86,6
NaOH (via seca)	67,8	65,9	67,3

La técnica consiste en añadir en un recipiente construido al ras del suelo (especie de pediluvio) una solución de urea adicionada de un agente ureolítico; sobre este se colocan unas estibas, encima de las cuales se arreglan las pacas de heno, evitándose así el humedecimiento de las mismas. Posteriormente se cubren con polietileno tanto las pacas como el recipiente, evitando al máximo la pérdida de los vapores de amoníaco generados tras la hidrólisis de la urea (Figura 2) [4].

Figura 2. Esquematación del proceso de amonificación seca. Tras la hidrólisis de la urea añadida en forma de solución en un recipiente ubicado debajo de las pacas de heno (evitando su contacto directo), los vapores de amoníaco generados se difuminan a través del espacio cubierto herméticamente por una capa de polietileno [4]



Pruebas preliminares de esta nueva metodología han arrojados resultados muy atractivos. Trabajando con heno de *Brachiaria humidicola* se han alcanzado incrementos importantes en los niveles de proteína cruda (pasando del 3,2 al 8,3%) y en la digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca -DIVMS- (pasando del 46,2 al 57,1%), con 21 días de aplicación del tratamiento [4]. En otra prueba, trabajando con soca de sorgo hemos incrementado significativamente el nivel de proteína cruda (pasando del 5,2 al 9,3%) y en la DIVMS (pasando del 50,5 al 62,4%) [43].

A la vista de tan interesantes resultados, por la repercusión que estas mejoras en el valor nutricional de heno pudiera tener sobre los rendimientos productivos de nuestros rebaños, en la actualidad se están desarrollando en la Hacienda La Esperanza una serie de investigaciones, con el fin de establecer un paquete tecnológico adecuado que pueda ser ofertado a los productores agropecuarios de la región.

VII. CONCLUSIONES

El alto grado de lignificación y bajo contenido proteico de los forrajes tropicales determinan la baja utilización digestiva por parte de los microorganismos ruminales. Para paliar esta situación, se proponen alternativas de suplementación que busquen estimular a las poblaciones microbianas y/o la implementación de estrategias que per-

mitan directamente mejorar el valor nutricional de tales forrajes. Entre las últimas, la "amonificación seca" se presenta como una alternativa muy prometedora debido a su bajo costo, facilidad de aplicación a nivel de finca y a la mejora significativa que provoca sobre el valor nutricional de los forrajes tropicales conservados.

VIII. LITERATURA CITADA

- [1] Abreu, T., Mora, M., Ventura, M. 2002. "Evaluación de la concentración de urea y tiempo de inmersión sobre el valor nutritivo de la especie forrajera *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickt, sometido al proceso de amonificación". Tesis de pre-grado. Facultad de Agronomía, LUZ.
- [2] Barrios, A., Fondevila, M., Peiro, J.M., Castrillo, C. 1996. Effect of source of carbohydrate supplement on bacterial adhesion and digestion of straw cell wall. *Ann. Zootech.* 45, Suppl, 297.
- [3] Barrios-Urdaneta, A., Fondevila, M., Balcells, J., Dapoza, C., Castrillo, C. 2000. *In vitro* microbial digestion of straw cell wall polysaccharides in response to supplementation with different sources of carbohydrates. *Australian Journal of Agricultural Research* 51 (3): 393-400.
- [4] Barrios-Urdaneta, A. and Ventura, M. 2001. Use of "dry ammoniation" to improve the nutritive value of *Brachiaria humidicola* hay. *Livestock Research for Rural Development* (14) 4. [Http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/4/barr144.htm](http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/4/barr144.htm)
- [4a] Barrios, A. 2001. Estrategias empleadas para mejorar el valor nutritivo de los forrajes empleados en la alimentación del ganado bovino de doble propósito. IX Jornadas Científico Técnicas del Instituto de Investigaciones Agronómicas de La Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela. pp. 108-114.
- [5] Bondi, A. 1988. Metabolismo de carbohidratos en rumiantes. En: *Nutrición Animal*. Edit. Acribia, Zaragoza. 61-72.
- [6] Buxton, D.R. 1989. *In vitro* digestion kinetic of temperate perennial forage legume and grass stems. *Crop Sci.* 29: 213-219.
- [7] Castrillo, C., Fondevila, M., Alibes, X., Joy, M. 1991. Chemical treatments for upgrading lignocellulosic resources and strategies for their utilization in ruminant feeding. En: *Production and utilization of lignocellulosics*. G.C. Galletti (ed.). Elsevier Applied Science. 339-373.
- [8] Chenost, M., Demarquilly, C. 1982. Measurements of herbage intake by housed animals. En: *Herbage intake handbook*. J.D. Leaver (ed.). British Grassland Society Publications. pp. 95-112.
- [9] Chenost, M., Dulphy, J.P. 1987. Amélioration de la valeur alimentaire (composition, digestibilité, ingestibilité) des mauvais foin et des pailles par les différent types de traitement. En: *Les fourrages secs: récolte, traitement, utilisation*. C. Demarquilly (ed.). INRA. Paris. 199-230.
- [10] Chesson, A. 1986. The evaluation of dietary fibre. En: *Feedingstuffs evaluation: modern aspects, problems, future trends*. R.M. Livingstone (ed.). Feeds Publication No. 1. Aberdeen. 18-25.
- [11] Church, D.C. 1993. Clasificación e importancia de los rumiantes. En: *El rumiante. Fisiología digestiva y nutrición*. Editado por: Church, C.D. Edit. Acribia, Zaragoza. 1-14.

- [12] Cloete, S.W.P. y Kritzinger, N.M. 1984. A laboratory assessment of various treatment conditions affecting the ammoniation of wheat straw by urea. 1. The effect of temperature, moisture level and treatment period. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 14: 55-58.
- [13] Durand, M. 1989. Conditions for optimizing cellulolytic activity in the rumen. En: Evaluation of straw in ruminant feeding. M. Chesnot and P. Reiniger (eds). Comission of European Communities. Elsevier. 3-19.
- [14] Fondevila, M. 1991. Efecto del tipo de suplemento energético y del nivel de suplementación sobre la digestión e ingestión voluntaria de paja de cebada, en su estado natural o tratada con amoníaco anhidro, por el ganado ovino. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. 305 pp.
- [15] Gordon, A.H., Chesson, A. 1983. The effect of prolonged storage on the digestibility and nitrogen content of ammonia-treated barley straw. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 8: 147-153.
- [16] Heldt, J.S., Cochran, R.C., Mathis, C.P., Woods, B.C., Olson, K.C., Titgemeyer, E.C., Nagaraja, T.G., Vanzant, E.S., Johnson, D.E. 1999. Effects of level and source of carbohydrate and level of degradable intake protein on intake and digestion of low quality Tallgrass-Prairie hay by beef steers. *J. Anim. Sci.* 77:2846-2854.
- [17] Hespell, R.B. 1984. Influence of ammonia assimilation pathways and survival strategy on ruminal microbial growth. En: Herbivores Nutrition in the Subtropics and Tropics. pp 346-358. Eds: F.M.C. Gilchrist and R.I. Mackie. The Science Press, Pretoria.
- [18] Homb, T., Sundstøl, F., Arnason, J. 1977. Chemical treatment of straw at commercial and farm levels. FAO Animal Production and Health Paper No. 4. Rome. pp. 25-37.
- [19] Joy, M., Muñoz, F., Alibes, X. 1989. Tecnología a nivel de explotación para un uso eficiente de la paja de cereal en la alimentación de rumiantes. Expoaviga. VI Jornadas sobre ganado ovino y caprino. Barcelona. pp. 16-23.
- [20] Kaufmann, W., Hagemeister, H., Dirksen, G. 1980. Adaptation to changes in dietary composition, level and frequency of feeding. En: Digestive physiology and metabolism in ruminants. Y. Ruckebusch y P. Thivend (eds.). MTP Press. 587-602.
- [21] Kempton, T.J. 1982. Role of feed supplements in the utilization of low protein roughage diets by sheep. *Wld. Rev. Anim. Prod.* 18: 7-14.
- [22] Lindberg, J.E., Ternrud, I.E., Theander, O. 1984. Degradation rate and chemical composition of different types of alkali-treated straws during rumen digestion. *J. Sci. Food Agric.* 35: 500-506.
- [23] Macdearmid, A., Williams, P.E.V., Innes, G.M. 1988. A comparison under temperature conditions on the nutritive value of straw for cattle following treatment using either ammonia from urea or via direct injection. *Anim. Prod.* 46: 379-385.
- [24] Mason, V.C., Hartley, R.D., Keene, A.S., Cobby, J.M. 1988. The effect of ammoniation on the nutritive value of wheat, barley and oat straw. 1. Changes in chemical composition in relation to digestibility "in vitro" and cell wall degradability. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 19: 159-171.
- [25] Minson D.J. 1981. Nutritional differences between tropical and temperate pastures. En: Grazing animals. pp 143-157. Ed: F.H.W. Morley. Elsevier, Amsterdam.
- [26] Nakashima, Y., Orskov, E.R. 1989. Rumen degradation of straw. 7. Effects of chemical pretreatment and addition of propionic acid on degradation characteristics of botanical fractions of barley straw treated with a cellulase preparation. *Anim. Prod.* 48: 543-551.

- [27] Nakashima, Y., Orskov, E.R. 1990. Rumen degradation of straw. 9. Effect of cellulase and ammonia treatment on different varieties of rice straws and their botanical fractions. *Anim. Prod.* 50: 309-317.
- [28] O'Donovan, P.B. 1983. Untreated straw as a livestock feed. *Nutr. Abstr. Rev. series B*, 53: 442-455.
- [29] Owen, E., Klopfenstein, T., Urio, N.A. 1984. Treatment with other chemicals. En: *Straw and other fibrous by-products as feed*. F. Sundstøl y E. Owen (eds.) Elsevier. 248-275.
- [30] Perdok, H.B. 1985. Ammoniation sometimes produces dangerous feed. En: *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*. R.B. Cumming (ed.). University of New England Publications, Armidale. Paper No. 31.
- [31] Perdok, H.B., Leng, R.A. 1987. Hyperexcitability in cattle fed ammoniated roughages. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 17: 121-143.
- [32] Peyraud, J.L., Widyobroto, B.P. 1994. Effect of the nature and the rate of ruminal degradation of carbohydrates on site and extent of digestion in dairy cows. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* Pag. 34.
- [33] Russell, J.B., O'Connor, J.D., Fox, D.G., Van Soest, P.J., Sniffend, C.J. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *J. Anim. Sci.* 70:3551-3561.
- [34] Sampath, T.K., Wood, C.D., Prasad, C.S. 1995. Effect of Urea and By-Products on the in-vitro Fermentation of Untreated and Urea Treated Finger Millet (*Eleusine coracana*) Straw. *J. Sci. Food Agric.* 67: 323-328.
- [35] Schneider, M., Flachowsky, G. 1990. Studies on ammonia treatment of wheat straw: effects of level of ammonia, moisture content, treatment time and temperature on straw composition and degradation in the rumen of sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 29: 251-264.
- [36] Silva, A.T., Orskov, E.R. 1988. Fiber degradation in the rumen of animal receiving hay, untreated or ammonia-treated straw. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 29:251-264.
- [37] Sundstøl, F. 1988. Straw and other fibrous by-products. En: *Livestock feed resources and feed evolution in Europe*. *Livest. Prod. Sci.* 19: 137-158.
- [38] Sundstøl, F., Coxworth, E. 1984. Ammonia treatment. En: *Straw and other fibrous by-products as feed*. F. Sundstøl y E. Owen (eds.) Elsevier. pp. 196-247.
- [39] Van Der Meer, J.M., Wever, G., Bediye, S. 1988. Rumen bacteria for evaluation of enzymatically changed animal feeds and genetic varieties of fodder plants. *Analytica Chimica Acta*, 213: 177-185.
- [40] Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional Ecology of the ruminant* (Second Edition). Cornell University Press. pp.77.
- [41] Van Soest, P.J., Ferreira, A.M., Hartley, R.D. 1984. Chemical properties of fibre in relation to nutritive quality of ammonia-treated forages. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 10: 155-164.
- [42] Ventura, M. 1998. Alternativas para mejorar la utilización de forrajes conservados. En: *Mejora de la Ganadería Mestiza de Doble Propósito*. González-Stagnaro, C., Madrid-Bruy, N. y Soto, E. (eds). Editorial Astro Data S.A. pp. 325-346.
- [43] Ventura, M., Barrios A., Morales I., Toro C., Barreto K., Noguera F. 2002. Efecto de la "Amonificación Seca" sobre el valor nutricional de la soca de sorgo (*Sorghum bicolor*). *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia* (en prensa).

- [44] Ventura, M., Osuna, D. 1995. Alternativas nutricionales en el ganado bovino durante la época seca. En: Manejo de la Ganadería Mestiza de Doble Propósito. Madrid-Bury, N. y Soto, E. (eds). Editorial Astro Data S.A. Maracaibo. Cap. XV: 263-288.
- [45] Walker, H.G. 1984. Physical treatment. En: Straw and other fibrous by-products as feed. F. Sundstøl y E. Owen (eds.) Elsevier. 79-105.
- [46] Wanapat, M., Sundstøl, F., Hall, J.M.R. 1986. A comparison of alkali treatment methods to improve the nutritive value of straw. 2. In sacco and in vitro degradation relative to in vivo digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.* 14: 215-220.
- [47] Yokoyama, Y., Johnson, K.A. 1993. Microbiología del rumen e intestino. En: El Rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición. Ed: D.C. Church. Acribia, Zaragoza. pp. 137-157.
- [48] Zadrazil, F. 1987. White rot fungi and mushrooms grown on cereal straw: aim of the process, final products, scope for the future. En: Degradation of lignocellulosis in ruminants and in industrial processes. J.M. Van der Meer, B.A. Rijkens y M.P. Ferranti (eds.). Commission of the European Communities. Elsevier. pp. 55-62.
- [49] Zorrilla-Ríos, J.; Owens, F.N.; Horn, G.W., McNew, R.W. 1985. Effect of ammoniation of wheat straw on performance and digestion kinetics in cattle. *J. Anim. Sci.* 60: 814-821.