

# VALOR NUTRITIVO DE LA PAJA DE CEBADA TRATADA CON ALCALIS EN LA ESPECIE CAPRINA

## NUTRITIVE VALUE THE TREATED BARLEY STRAW IN GOATS

Hernández Ruipérez, F., J. Madrid Sánchez, M.A. Pulgar Gutiérrez y J.M. Cid Díaz

Departamento de Producción Animal, Nutrición y Alimentación Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia, Campus de Espinardo, Ap. 4021. 30071 Murcia. España.

### Palabras clave adicionales

Amoniaco anhidro. Hidróxido de sodio. Digestibilidad.

### Additional keywords

Anhydrous ammonia. Sodium hydroxide. Digestibility.

### RESUMEN

La paja de cebada fue valorada directamente sin tratar y después de ser sometida a dos tratamientos alcalinos, con hidróxido de sodio según el método dip en solución acuosa al 1,5 p.100 durante una hora y con amoníaco al 3,5 p.100 inyectado en estado gaseoso en un almiar donde permaneció cerrado durante un mes.

Para la valoración nutritiva de los subproductos elegidos se han realizado análisis de composición química, pruebas de digestibilidad *in vivo* en la especie caprina y también se ha realizado la valoración energética de cada uno de ellos.

La paja de cebada presentó un bajo contenido de PB (2,63 p.100) que aumentó hasta el 6,8 p.100 por el tratamiento con amoníaco mientras que la sosa no lo afectó. La composición de la fracción fibrosa fue la más afectada por los tratamientos. La FND inicialmente de 77,26 p.100, descendió al 70,56 p.100 por la acción del NaOH; en la paja tratada con amoníaco no varió. La lignina descendió ligeramente después del tratamiento con amoníaco de 9,08 a 8,11 p.100 y en mayor medida por la sosa 6,32 p.100. De todas las fracciones fibrosas la más afectada fue la hemicelulosa la cual experimentó una fuerte solubilización por el tratamiento con álcalis muy especialmente por el hidróxido de sodio.

La DMO de la paja de cebada fue de 42,86 p.100.

El tratamiento con álcalis mejoró este coeficiente aunque sólo fue significativo ( $p < 0,01$ ) en el caso del amoníaco donde llegó a 53,59 p.100, siendo el de la sosa del 48,18 p.100. Los coeficientes de digestibilidad de las fracciones fibrosas experimentaron mejoras significativas ( $p < 0,001$ ) por los tratamientos, concretamente la digestibilidad de la FND pasó de 44,14 p.100 en la paja no tratada a 53,93 p.100 en la paja tratada con sosa y a 60,93 p.100 en la tratada con amoníaco.

### SUMMARY

Barley straw was studied untreated and after being subjected to two alkaline treatments, one with sodium hydroxide using the dip method in 1.5 p.100 aqueous solution for one hour and the other with 3.5 p.100 ammonia injected in gas form into a haystack, where it was left for one month.

To assess the nutritional value of the byproducts, we analysed chemical composition, carried out digestibility tests *in vivo* in goat, and evaluated the energy value of each one.

The barley straw presented a CP content of 2.63 p.100, which increased to 6.8 p.100 with the ammonia treatment but remained unaffected by the soda. The

fibrous fraction composition was the most affected by the treatments. The cell walls, 77.26 p.100 initially, fell to 70.56 p.100 as a result of the NaOH, but there were no variations in the ammonia-treated straw. Lignin fell slightly after the ammonia treatment from 9.08 to 8.11 p.100, and to a greater extent with the soda (6.32 p.100). Of all the fibrous fractions, the most affected was hemicellulose, which underwent a strong solubilisation with the alkali treatment, especially with sodium hydroxide.

The DOM of the barley straw was 42.86 p.100. The alkali treatment improved this coefficient, although it was only significant ( $p < 0.01$ ) in the case of ammonia, reaching 53.59 p.100; with soda it reached 48.18 p.100. The coefficients of digestibility of the fibrous fractions were significantly improved by the treatments ( $p < 0.001$ ); in particular, the digestibility of the NDF rose from 44.14 p.100 in the untreated straw to 53.93 p.100 in the soda treatment and 60.93 p.100 in the ammonia treatment.

## INTRODUCCION

La paja de cereales representa el residuo procedente de cultivos agrícolas de mayor producción mundial. Está constituida por el conjunto de tallos y hojas que quedan después de ser cosechados los granos de cereales maduros y se caracteriza por su bajo valor nutritivo.

Si en muchas partes del mundo el forraje, y más concretamente la paja, constituye la mayor y a veces el único alimento disponible, el objetivo de un programa de alimentación ha de basarse en la óptima digestión microbiana de la paja y utilización completa del material ingerido. Esta debe de ser la base de todos los tratamientos que en la actualidad existen para mejorar la calidad nutritiva de los residuos fibrosos.

El tratamiento más sencillo sería una

complementación correcta con minerales y nitrógeno para favorecer la actividad celulolítica en el rumen y la digestión de las paredes celulares (Chenost y Dulphy, 1987). Actualmente se realizan tratamientos más complejos entre ellos los tratamientos químicos con agentes alcalinos.

Los cambios que tienen lugar cuando los forrajes son sometidos a tratamientos con agentes alcalinos pueden dividirse en físicos y químicos (Sundstol, 1988).

Las modificaciones físicas comprenden un ablandamiento del material e hinchamiento de la pared celular que es más pronunciado en tratamientos húmedos con sosa. Al ser expandida y rota la pared celular, los microorganismos del rumen tienen mayor acceso a los carbohidratos estructurales aumentando la digestibilidad del forraje. Además, como consecuencia del ablandamiento, aumenta la ingestión voluntaria.

Para explicar las reacciones químicas, que tienen lugar durante el tratamiento con álcalis, sobre los residuos fibrosos existen tres tendencias cuyos puntos comunes son (Cordesse, 1987):

1. Liberación de los grupos fenólicos de la lignina. Chesson (1988) señala que la proporción en que estos grupos son liberados de la paja de cereales por un incremento de la concentración de álcalis está relacionada directamente con una mejora en su digestibilidad.

2. Hidrólisis de los enlaces de hidrógeno entre la lignina y la hemicelulosa (Theander y Aman, 1984). La ruptura de estos enlaces hace que tanto la hemicelulosa como la celulosa embebida en estos complejos sean más accesibles a la acción de las enzimas microbianas, lo que se demuestra por el aumento del

## PAJA TRATADA PARA CAPRINO

número de bacterias adheridas a las paredes (Chesson, 1988).

3. La hidrólisis de las moléculas de hemicelulosa que provoca la ruptura de enlaces de Ca entre radicales de ácido glucurónico con la liberación de radicales acetilo, dando lugar a una solubilización parcial de la hemicelulosa.

Chenost y Dulphy (1987) señalan que, como consecuencia del tratamiento alcalino, también se produce una destrucción de la cutícula de los forrajes por solubilización parcial de la sílice mientras que la estructura cristalina de la celulosa no experimenta cambios.

El objetivo del presente trabajo es evaluar las posibilidades del tratamiento con amoníaco anhidro o hidróxido de sodio para mejorar el valor nutritivo de la paja de cebada. Para ello se ha utilizado la especie caprina por la importancia que tiene en la región de Murcia y, sobre todo, por la escasa información existente sobre la alimentación del caprino con pajas tratadas en zonas templadas.

### MATERIAL Y METODOS

#### 1. ALIMENTO

##### PAJA SOLA

Se ha utilizado paja de cebada de la cosecha de primavera de 1990, troceada a 15 cm de longitud para evitar pérdidas al ofrecerla a los animales.

##### PAJA TRATADA CON $NH_3$

Para el tratamiento con amoníaco anhidro se ha seguido el método descrito por Sundstol *et al.* (1978). Las pacas de paja de dimensiones 90 x 40 x 35 cm fueron apiladas a modo de pirámide for-

mando un almiar que fue recubierto, incluido el suelo, con plástico negro de galga 400. A continuación se inyectó el amoníaco, en forma de gas, a una concentración del 3,5 p.100 del peso de la paja y se selló herméticamente para evitar las pérdidas de gas.

Este tratamiento se realizó a finales de julio y tras un mes, se procedió a destapar el almiar en septiembre, ofreciendo la paja a los animales después de 2-3 días de aireación.

##### PAJA TRATADA CON NaOH

En este tratamiento se ha seguido el método húmedo *dip* según describe Sundstol (1981).

Las pacas de paja fueron introducidas en una solución al 1,5 p.100 de NaOH y tras una hora de tratamiento fueron sacadas para dejarlas escurrir. Cuando su contenido de humedad bajó hasta el 10-15 p.100, fueron almacenadas. Este método no incluye el lavado posterior, por lo que la paja contiene gran cantidad de Na.

#### 2. ANIMALES

Los animales utilizados fueron 15 (5 por prueba) machos caprinos adultos y castrados de raza Murciano-Granadina. Durante las pruebas permanecieron en jaulas individuales de digestibilidad y las heces fueron recogidas mediante bolsas de plástico sujetas a los animales mediante arneses.

#### 3. ANALISIS DE LABORATORIO

El total de las heces depuestas fue recogido diariamente así como muestras del alimento ofrecido y rehusado, y almacenadas en congelación a  $-20^{\circ}C$  hasta su análisis. Muestras de las heces diarias y

de los alimentos fueron secadas en estufa de aire forzado a 60°C durante 48 h y molidas en un molino de martillos (Culatti) con un tamiz de 1mm de diámetro.

Las muestras fueron analizadas para la materia seca (MS), cenizas, materia orgánica (MO), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), extracto etéreo (EE) y extractivos libres de nitrógeno (ELN) según los métodos de la A.O.A.C. (1980).

Para el análisis de los componentes celulares, fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y la lignina permanganato se siguió el método propuesto por Goering y Van Soest (1970).

El cálculo de las energías bruta (EB) y digestible (ED) fue realizado por análisis calorimétrico de los alimentos y las heces en una bomba de tipo balístico. La energía metabolizable (EM) se estimó a partir de la energía digestible ( $EM = 0,81 ED$ ).

#### 4. VALORACIONES NUTRITIVAS

La prueba de digestibilidad *in vivo* se realizó según la metodología descrita por Cammell (1977). Abarcó dos periodos: uno de acostumbramiento, de 15 días de duración, en el que los animales se adaptaron al alimento; y otro de recogida, propiamente experimental, de 10 días de duración. Durante este periodo, las heces depuestas fueron recogidas diariamente, controlándose la cantidad de alimento ingerido.

Las raciones estaban constituidas únicamente por el subproducto, que era suministrado *ad libitum* una vez al día, ajustando diariamente la ración para recoger una cantidad de producto rehusado no superior al 10-15 p.100, niveles que se consideran adecuados para que el animal no tenga opción de seleccionar el

alimento, así como para que las fluctuaciones en la ingestión diaria sean mínimas según indica Cammell (1977). Durante toda la prueba los animales tuvieron acceso al agua y a un bloque mineral.

#### 5. ANALISIS ESTADISTICO

Sobre los datos obtenidos se han realizado análisis de varianza (Steel y Torrie, 1980).

## RESULTADOS Y DISCUSION

#### 1. COMPOSICION QUIMICA

Los datos de composición química de la paja de cebada no tratada y tratada con álcalis, amoníaco anhidro o hidróxido de sodio, se indican en la **tabla I**.

El contenido de humedad de la paja no

**Tabla I.** Composición químico-bromatológica (p.100 MS) de la paja de cebada no tratada y tratada con álcalis. (Chemical-bromatological composition (p.100 DM) of untreated and treated barley straw).

	No tratada	Tratada NH <sub>3</sub>	Tratada NaOH
MS	87,44	89,62	89,49
MO	90,44	90,64	87,48
PB	2,63	6,80	2,96
FB	44,10	41,49	45,37
EE	1,03	1,61	1,21
ELN	42,68	40,74	38,34
Cenizas	9,56	9,36	12,52
FND	77,26	77,00	70,56
FAD	46,62	48,00	51,99
Lignina	9,08	8,11	6,32
Celulosa	38,25	40,46	43,98
Hemicelulosa	30,64	29,00	18,57
EB (MJ/kg MS)	19,21	19,30	17,90

## PAJA TRATADA PARA CAPRINO

tratada, superior al 3 p.100, fue suficiente para que el tratamiento en seco con amoníaco en estado gaseoso tuviera efectos sobre la composición química de la paja (Sundstol *et al.*, 1979). La paja que fue sometida al tratamiento húmedo con sosa se dejó secar antes de su administración a los animales.

La paja, antes del tratamiento, contenía 9,56 p.100 de minerales. El tratamiento con amoníaco no afectó a esta variable mientras que la sosa la elevó hasta el 12,52 p.100, debido al elevado nivel de Na residual, que puede llegar a 30-35 g/kg de MS según indica Homb (1984).

La fracción nitrogenada aumentó a consecuencia del tratamiento con amoníaco hasta el 6,8 p.100 de proteína bruta. La mejora de 4,2 puntos queda dentro del rango de aumento de 4-6 p.100 señalado por Sundstol (1984). Chenost y Dulphy (1987) indican un contenido de proteína bruta después del tratamiento del 9-10 p.100, si bien parten de una paja con PB entre el 3 y 4 p.100 mientras que la de esta experiencia, contenía inicialmente un 2,6 p.100. El tratamiento con sosa no tuvo efecto apreciable sobre esta fracción.

Las materias extractivas libres de nitrógeno bajaron ligeramente después de los tratamientos de la paja. Esta bajada fue más acusada en el tratamiento con sosa llegando al 4 p.100, por la pérdida de material soluble durante el baño de la paja. Esta cifra es baja en comparación con las pérdidas de hasta el 20 p.100 de los compuestos solubles que sufren los materiales tratados con sosa por métodos que incluyen el lavado con agua después del tratamiento (Homb, 1984).

La paja de cebada contenía 44,10 p.100 de FB, cifra que apenas fue afectada por el tratamiento con sosa (45,37 p.100) mientras que el amoníaco la redujo en 3 unidades.

Las distintas fracciones que integran las paredes celulares, celulosa, hemicelulosa y lignina principalmente, reaccionaron de modo desigual al tratamiento. La celulosa, cuyo contenido inicial era del 38,25 p.100, aumentó ligeramente por la acción del amoníaco y en más proporción por la sosa; al parecer, el amoníaco penetra durante el tratamiento en los espacios interfibrilares de la celulosa cristalina de la pared celular para romper enlaces de puente de hidrógeno (Cottyn y DeBoever, 1988). El hidróxido sódico, de mayor fuerza alcalina, tiene un apreciable efecto sobre los enlaces celulosa-hemicelulosa-lignina de tipo covalente produciendo, una mayor cantidad de celulosa libre y disponible para los microorganismos ruminales (Fernández *et al.*, 1981).

Las mayores diferencias en la composición de los tres tipos de paja estudiados se localizó en la concentración de hemicelulosa. En material original fue del 30,64 p.100; después del tratamiento con amoníaco del 29,00 p.100. La sosa provocó una fuerte solubilización de la hemicelulosa reduciéndola al 18,57 p.100. En este efecto del tratamiento de la paja con hidróxido sódico coinciden otros autores como Alawa y Owen (1984); Wignjosesastro y Young (1982).

Por último, la fracción lignificada de las paredes celulares también se vio afectada a consecuencia del tratamiento. El amoníaco disminuyó el contenido de lignina en la paja en un 10,68

**Tabla II.** Coeficientes de digestibilidad *in vivo*<sup>1</sup> de la paja de cebada no tratada y tratada con álcalis. (Digestibility coefficients of untreated and treated barley straw).

	No tratada	Tratada con NH <sub>3</sub>	Tratada con NaOH	SND	N.S. <sup>2</sup>
MS	43,74±1,02 <sup>a</sup>	52,99±1,06 <sup>b</sup>	49,47±2,47 <sup>b</sup>	0,96	**
MO	42,86±0,96 <sup>a</sup>	53,59±1,13 <sup>b</sup>	48,18±2,76 <sup>ab</sup>	1,04	**
FB	49,11±1,37 <sup>a</sup>	62,47±1,27 <sup>b</sup>	56,82±3,32 <sup>b</sup>	1,27	**
ELN	38,48±0,97 <sup>a</sup>	49,51±1,03 <sup>b</sup>	45,75±2,25 <sup>b</sup>	0,88	***
FND	44,14±1,21 <sup>a</sup>	60,93±1,10 <sup>b</sup>	53,92±3,49 <sup>c</sup>	1,28	***
FAD	42,94±1,38 <sup>a</sup>	60,30±1,08 <sup>b</sup>	52,50±3,54 <sup>c</sup>	1,31	***
Celulosa	48,07±1,20 <sup>a</sup>	66,36±1,40 <sup>b</sup>	61,75±3,86 <sup>b</sup>	1,42	***
Hemicelulosa	45,97±1,02 <sup>a</sup>	61,96±1,26 <sup>b</sup>	57,91±3,40 <sup>b</sup>	1,25	***
MOD	38,75±0,87 <sup>a</sup>	48,57±1,02 <sup>b</sup>	42,15±2,41 <sup>a</sup>	0,92	**

<sup>1</sup>En porcentaje, media ± error standard. <sup>2</sup>Nivel de significación. \*\*\*: p<0,001; \*\*: p<0,01.

p.100 y la sosa en un 30,39 p.100.

## 2. DIGESTIBILIDAD *IN VIVO*

Los coeficientes de digestibilidad obtenidos son indicados en la **tabla II**. La digestibilidad de la materia seca de la paja no tratada fue de 43,74 p.100, valor muy similar al señalado por Andrieu y Demarquilly (1987). La DMO de 42,86 p.100 es ligeramente inferior a la señalada por Givens *et al.* (1989) que la cifra en un 48 p.100 como media en la paja de cebada; este estudio está realizado en latitudes diferentes, y este factor influye en la composición química de la paja.

A consecuencia del tratamiento con amoníaco se produjo una mejora significativa (p<0,01) en la digestibilidad de la materia orgánica de 10,7 unidades con respecto al material no tratado. Este valor queda dentro del rango señalado por Sundstol (1984) de 8-12 unidades de mejora en la DMO por el amoníaco y coincide con los aumentos indicados por

otros autores que parten de paja de mejor calidad (Borhami *et al.*, 1982); calidad similar a la de este trabajo (Dias da Silva y Sundstol, 1986); o paja de peor calidad inicial (Jewell y Campling, 1986).

Todas las fracciones fibrosas experimentaron mejoras significativas en sus coeficientes de digestibilidad por el tratamiento. Concretamente, se produjeron mejoras muy significativas (p<0,001) en la digestibilidad de la fibra bruta, FND, FAD, llegando a aumentar en un 38 p.100 la digestibilidad de las paredes celulares, valor muy próximo al 39 p.100 señalado por Dryden y Kempton (1983) en pruebas de digestibilidad directas realizadas en la especie ovina.

Las mejoras de digestibilidad de la celulosa, del 38,04 p.100 y hemicelulosa del 34,78 p.100 fueron similares a las producidas por el mismo tratamiento en ovino según indican Dias da Silva y Sundstol (1986).

La mejora en la digestibilidad expe-

## PAJA TRATADA PARA CAPRINO

rimentada por la paja a consecuencia del tratamiento con amoníaco es debida, mayoritariamente, al mejor aprovechamiento de la fibra. Así, según Chenost y Dulphy (1987), aunque una suplementación con nitrógeno puede mejorar la digestibilidad de un producto, para la paja tratada con amoníaco esta mejora no es debida a la incorporación de nitrógeno soluble adicional por el tratamiento (Dryden y Kempton, 1983), ya que del total del nitrógeno procedente del tratamiento, sólo una parte es soluble en rumen de acuerdo con lo que señala Hvelplund (1989).

La paja tratada con hidróxido de sodio experimentó una mejora significativa ( $p < 0,01$ ) en la digestibilidad de todas sus fracciones con respecto a la paja no tratada, pero fue menor a la producida por el tratamiento con amoníaco. La diferencia entre ambos tratamientos fue significativa ( $p < 0,001$ ) para la digestibilidad de las paredes celulares y FAD. Sin embargo, se admite generalmente, que el tratamiento con sosa produce aumentos en la digestibilidad de la paja que son superiores a los tratamientos con amoníaco (Sundstol y Coxworth, 1984).

En esta línea, Wrathall *et al.* (1989) señalan un coeficiente de digestibilidad de la materia seca de 65,2 p.100 para la paja tratada con sosa por el método *dip* en la especie caprina frente al 43,9 p.100 de la paja no tratada. No obstante, durante el tratamiento se adicionó urea para aumentar el contenido de nitrógeno en la paja, lo que pudo influir favorablemente en la digestibilidad. Gihad *et al.* (1980) también han registrado una mejora significativa en caprino tanto en la DMS

como en la DMO de la paja de arroz después de su tratamiento con sosa llegando al 65,6 y 72,4 p.100 respectivamente.

El bajo coeficiente de digestibilidad de la materia orgánica (48,18 p.100) encontrado con respecto al señalado por otros autores puede ser debido a que, en el presente ensayo, la paja era el único constituyente de la dieta, además de un suplemento mineral. Este tratamiento con sosa añade una cantidad variable de sodio (30-35 g/kg MS) que da lugar a un producto con un pH muy alcalino, próximo a 12. En estas condiciones, aunque no se producen problemas sobre la salud del animal, al menos a corto plazo, si hay efectos sobre su valor nutritivo (Nicholson, 1984). Un exceso de NaOH residual en la paja reduce la digestibilidad ya que determina un incremento de la velocidad de paso y descenso de la proporción de digestión de la fibra por la alteración del pH ruminal (Klopfenstein *et al.*, 1979).

El contenido de materia orgánica digestible (MOD) en la paja de cebada fue del 38,75 p.100. Como consecuencia de los tratamientos experimentó una mejora que sólo fue significativa ( $p < 0,01$ ) para la paja tratada con amoníaco.

El grado de mejora experimentado por la paja a consecuencia del tratamiento depende de la calidad inicial de la paja (Guzmán *et al.*, 1991). Así Lawlor y O'Shea (1979) partiendo de paja de baja calidad, con un 32 p.100 de MOD, señalan una mejora del 15,8 p.100; mientras que Givens *et al.* (1988) indican un aumento del nivel de MOD en la paja del 46 al 57 p.100 después del tratamiento con amoníaco. Esta mejora, aproximadamen-

te del 10 p.100, coincide con la encontrada en este trabajo.

### 3. INGESTION

En la **tabla III** se recogen los datos de ingestión de paja. La ingestión inicial de paja de cebada fue de 35,57 g MS/kg PV<sup>0,75</sup> y día, valor inferior al señalado por Alrahmoun *et al.* (1985) en paja de cebada suplementada con *turtó* de soja de 59,3 g MS/kg PV<sup>0,75</sup> y día, pero semejante a los niveles máximos indicados por Wales *et al.* (1990) cuando la paja de trigo fue el único alimento de ovinos.

Lo más interesante fueron los cambios producidos en los niveles de ingestión voluntaria a consecuencia del tratamiento. Mientras que la sosa, provocó graves problemas de apetecibilidad en los animales bajando, aunque no significativamente ( $p > 0,05$ ), con respecto al material no tratado, el tratamiento con amoníaco produjo una mejora muy significativa ( $p < 0,001$ ) en los niveles de ingestión llegando a 55,04 g MS/kg PV<sup>0,75</sup> y día. Estos datos no coinciden con los resulta-

dos obtenidos por Chenost y Dulply (1987) que indican mayores aumentos en la ingestión de materia seca cuando la paja es tratada con sosa, concretamente 16,1 g frente a 14,2 g para el amoníaco.

La mejora en la ingestión voluntaria de materia orgánica de paja debida al tratamiento con amoníaco fue del 48,54 p.100 porcentaje mayor al 23 p.100 señalado por Alibes *et al.* (1984) en latitudes próximas a las nuestras para la especie ovina. También aumentó la ingestión de materia orgánica digestible de 13,79 a 26,74 g/kg PV<sup>0,75</sup> y día. Este aumento es similar al indicado por Fondevila *et al.* (1993) en la especie ovina donde la ingestión pasó de 12,5 a 24,7 g MOD/kg PV<sup>0,75</sup> y día después del tratamiento con paja como único integrante de la ración.

Ocio *et al.* (1991), trabajando con cabras en lactación, indica un aumento en el consumo de paja del 70 p. 100 por el tratamiento con amoníaco, aunque estos animales recibían también una suplementación de concentrado.

El tratamiento con sosa dió proble-

**Tabla III.** Ingestión media diaria<sup>1</sup>. Pruebas con paja de cebada no tratada y tratada con álcalis. (Daily intake of untreated and treated barley straw).

	No tratada	Tratada con NH <sub>3</sub>	Tratada con NaOH	SND	N.S. <sup>2</sup>
MS (g/día)	410,8 ± 10,0 <sup>a</sup>	610,3 ± 5,3 <sup>a</sup>	384,0 ± 28,8 <sup>a</sup>	10,2	***
MS (g/kgPV <sup>0,75</sup> /día)	35,57 ± 0,4 <sup>a</sup>	55,0 ± 1,7 <sup>b</sup>	30,5 ± 2,1 <sup>a</sup>	0,9	***
MO (g/día)	371,6 ± 9,0 <sup>a</sup>	553,2 ± 4,8 <sup>b</sup>	335,9 ± 25,0 <sup>a</sup>	9,0	***
MO (g/kgPV <sup>0,75</sup> /día)	32,1 ± 0,4 <sup>a</sup>	49,8 ± 1,6 <sup>b</sup>	26,6 ± 1,9 <sup>a</sup>	0,8	***
MOD (g/kgPV <sup>0,75</sup> /día)	13,7 ± 0,4 <sup>a</sup>	26,7 ± 1,0 <sup>b</sup>	12,9 ± 1,3 <sup>a</sup>	1,6	***
EM (KJ/día)	2498,8 ± 61,0 <sup>a</sup>	4969,6 ± 43,4 <sup>b</sup>	2473,3 ± 183,9 <sup>a</sup>	66,0	***
EM (KJ/kgPV <sup>0,75</sup> /día)	216,1 ± 2,9 <sup>a</sup>	448,0 ± 14,2 <sup>b</sup>	196,4 ± 13,7 <sup>a</sup>	2,0	***

<sup>1</sup>Media ± error standard. <sup>2</sup>Nivel de significación. \*\*\*:  $p < 0,001$ .

## PAJA TRATADA PARA CAPRINO

mas de apetecibilidad reduciéndose el consumo hasta 30,56 g MS/kg PV<sup>0,75</sup> y día. Rexen y Bach-Knudsen (1984) apuntan que de los 25-30 g de Na/kg MS que contiene la paja después del tratamiento, al menos 10 g permanecen en forma de NaOH, lo que da lugar a un alto pH de la paja tratada y una disminución de la ingestión como indica Stigsen (1975). Este autor indica que cuando el pH del fluido del rumen es alrededor de 8,0 la ingestión de alimentos se para y no comienza de nuevo hasta que el pH baja hasta 7,0.

Estos datos no coinciden con los encontrados por otros autores como Alrahmoun *et al.* (1986) quienes señalan unos altos niveles de ingestión en la especie caprina de paja tratada con sosa, de 53,7 g MS/kg PV<sup>0,75</sup> y día cuando es suministrada como único alimento, pasando a 65,6 y 64,2 g MS/kg PV<sup>0,75</sup> y día si se suplementa con urea o *turtó* de soja respectivamente; Gihad *et al.* (1980) en paja de arroz tratada con sosa, indican que los niveles de ingestión mejoraron significativamente después del tratamiento con hidróxido de sodio, pasando de 50,0 a 55,5 g MS/kg PV<sup>0,75</sup> y día.

El valor energético de la paja de ceba-

da no tratada y tratada con álcalis se relaciona en la **tabla IV**. En la fracción de energía bruta se aprecia una disminución apreciable pero no significativa ( $p>0,05$ ) de las pérdidas de energía por heces cuando la paja es tratada con amoniaco o con sosa; Givens *et al.* (1988) encuentran el mismo efecto y puntualizan el aumento de las pérdidas de energía por orina.

El contenido de energía digestible en la paja de cebada antes del tratamiento fue de 7,51 MJ/kg MS, este valor es ligeramente inferior al señalado por Givens *et al.* (1989) de 7,78 MJ/kg MS como media de un amplio estudio de distintas variedades de paja de cebada, concluyendo precisamente en la alta variabilidad del valor nutritivo *in vivo*, digestibilidad y energía, no sólo por la variedad de paja, sino también por la metodología seguida en las pruebas.

Por efecto del tratamiento con amoniaco se produjo un aumento significativo ( $p<0,001$ ) del contenido de ED en la paja, pasando a 10,06 MJ/kg MS. Este incremento es mayor que el de 9,5 MJ ED/kg MS señalado por Givens *et al.* (1988).

Lawlor y O'Shea (1979) en paja de

**Tabla IV.** Valoración energética<sup>1</sup> de la paja de cebada no tratada y tratada con álcalis<sup>2</sup>. (Energetic value of untreated and treated barley straw).

	No tratada	Tratada con NH <sub>3</sub>	Tratada con NaOH	SND	N.S. <sup>3</sup>
Digestibilidad EB (p.100)	39,1±1,70 <sup>a</sup>	52,1±1,40 <sup>b</sup>	44,4±3,00 <sup>a</sup>	1,20	**
EB heces	20,85±0,61	19,64±0,16	19,65±0,18	0,22	NS
ED	7,51±0,33 <sup>a</sup>	10,06±0,27 <sup>b</sup>	7,95±0,55 <sup>a</sup>	0,23	***
EM	6,08±0,26 <sup>a</sup>	8,15±0,22 <sup>b</sup>	6,44±0,44 <sup>a</sup>	0,18	***

<sup>1</sup>MJ/kg MS. <sup>2</sup>Media ± error standard. <sup>3</sup>Nivel de significación \*\*\*:  $p<0,001$ ; \*\*:  $p<0,01$ ; NS:  $p>0,05$ .

cebada tratada con amoníaco en montón, señalan un aumento en el contenido de EM, calculada por diferencia en pruebas de digestibilidad, de 2,35 MJ/kg MS cuando la paja es suplementada con cebada, y de 1,63 MJ/kg MS cuando lo es por un concentrado. La mejora apreciada en este trabajo fue de 2,05 MJ/kg MS sin suplementación.

Por otro lado, Cottyn y De Boever (1988) indican un aumento de la energía neta de 3,55 a 4,31 MJ en paja tratada en montón con amoníaco. Estos autores señalan que las diferencias de energía neta entre la paja no tratada y tratada, son proporcionalmente más bajas que las diferencias en energía digestible, consecuencia según señalan Wanapat *et al.* (1985), de unas pérdidas mayores de energía por orina, en forma de gas y en calor en el caso de la paja tratada con amoníaco.

El tratamiento con sosa sólo produjo una ligera mejora no significativa ( $p > 0,05$ ) en la utilización energética de

la paja por el animal. El contenido de energía metabolizable se incrementó en 0,35 MJ/kg MS, valor superior al señalado por Wanapat *et al.* (1985) de 0,14 MJ EM/kg MS. Estos autores indican que cuando se alimenta a los animales con paja tratada con sosa por el método *dip* las pérdidas de energía en gas metano son sorprendentemente altas, resultando el valor en EM inferior a cualquier otro tipo de tratamiento con sosa.

Se concluye que el tratamiento de la paja con amoníaco da lugar a una mejora significativa del consumo y valor nutritivo de la misma para la especie caprina. Además de mejorar su contenido en nitrógeno no proteico mejora la digestibilidad, sobre todo la de la fracción fibrosa. En la paja tratada con sosa por el método *dip*, se observó un aumento estadísticamente significativo de la digestibilidad, si bien fue mal aceptada por los animales comprobándose una disminución en la ingestión cuando se administró como ración única.

## BIBLIOGRAFIA

- A.O.A.C. 1980.** Official methods of analysis. 13th ed. Association of official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- Alawa, J.P. and E. Owen. 1984.** The effect of milling and sodium hydroxide treatment on intake and digestibility of wheat straw by sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 11: 149-157.
- Albes, X., F. Muñoz y R. Fací. 1984.** Anhydrous ammonia-treated cereal straw for animal feeding. Some results from the mediterranean area. *Anim. Feed Sci. Technol.* 10: 239-246.
- Alrahmoun, W., C. Masson and J.L. Tisserand. 1986.** Etude comparée de l'activité microbienne dans le rumen chez les caprins et les ovins. II. Effect du niveau azoté et de la nature de la source azotée. *Ann. Zootech.* 35: 109-120.
- Alrahmoun, W., C. Masson and J.L. Tisserand. 1985.** Etude comparée de l'activité microbienne dans le rumen chez les caprins et les ovins. I. Effect de la nature du régime. *Ann. Zootech.* 34: 417-426.
- Andrieu, J. and C. Demarquilly. 1987.** Composition et valeur alimentaire des foin et des pailles. In: C. Demarquilly (Ed.). Les fourrages secs récolte, traitement utilisation. pp:163-182. INRA. Paris.

## PAJA TRATADA PARA CAPRINO

- Borhami, B.E.A., F. Sundstol and T.H. Garmo. 1982.** Studies on ammonia-treated straw. II. Fixation of ammonia in treated straw by spraying with acids. *Anim. Feed Sci. Technol.* 7: 53-59.
- Cammell, S.B. 1977.** Equipment and techniques used for research into the intake and digestion of forages by sheep and calves. Technical Report, nº 24, 80pp. Grassland Research Institute Hurley, Maidenhead, Berkshire, U.K.
- Cordesse, R. 1987.** Technologie du traitement des pailles à l'ammoniac. In: C. Demarquilly (Ed.), Les fourrages secs: récolte, traitement, utilisation. pp: 231-242. INRA, Paris.
- Cottyn, B.G. and J.L. De Boever. 1988.** Upgrading of straw by ammoniation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 21: 287-294.
- Chenost, Mand J.P. Dulphy. 1987.** Amélioration de la valeur alimentaire (composition, digestibilité, ingestibilité) des mauvais foin et des pailles par les différents types de traitement. In: C. Demarquilly (Ed.), Les fourrages secs: récolte, traitement, utilisation. pp: 199-230. INRA, Paris.
- Chesson, A. 1988.** Lignin polysaccharide complexes of the plant cell-wall and their effect on microbial degradation in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 21: 219-278.
- Dias da Silva, A.A. and F. Sundstol. 1986.** Urea as a source of ammonia for improving the nutritive value of wheat straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 14: 67-79.
- Dryden, G.M. and T.J. Kempton. 1983.** Digestion of organic matter and nitrogen in ammoniated barley straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 10: 65-75.
- Fernández, E., G. González y V. González. 1981.** Efecto de diferentes concentraciones de NaOH sobre la digestibilidad *in vitro* de la paja de trigo. *A.Y.M.A.* 22: 371-375.
- Fondevila, M., C. Castrillo, J. Gasa y J.A. Guada. 1993.** Factores que influyen en la ingestión por el ganado ovino de dietas a base de paja de cebada tratada o no con amoníaco. *ITEA*, 12 (tomo 1): 159-161.
- Gihad, E.A., T.M. El-Bedawy and A.Z. Mehrez. 1980.** Fiber digestibility by goats and sheep. *J. Dairy Sci.* 63: 1701-1706.
- Givens, D.I., A.H. Adamson and J.M. Cobby. 1988.** The effect of ammoniation on the nutritive value of wheat barley and oat straws. II. Digestibility and energy value measurements *in vivo* and their prediction from laboratory measurements. *Anim. Feed Sci. Technol.* 19: 173-184.
- Givens, D.I., J.M. Everington and A.H. Adamson. 1989.** Chemical composition, digestibility *in vitro* and digestibility and energy value *in vivo* of untreated cereal straws produced on farms throughout England. *Anim. Feed Sci. Technol.* 26: 323-335.
- Goering H.K. and P.J. Van Soest. 1970.** Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agricultural Handbook*, nº 379. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agricultural, Washington, EEUU.
- Guzmán, J.L., A. Gómez, A. Garrido y J.E. Guerrero. 1991.** Influencia de la calidad de la paja, el nivel de amoníaco, la temperatura y la duración sobre, el efecto del tratamiento de paja de cereal con amoníaco. XXXI Reunión SEEP. pp. 427-432.
- Homb, T. 1984.** Wet treatment with sodium hydroxide. In: F. Sundstol and E. Owen (Ed.), *Developments in Animal Veterinary Sciences*, 14. Straw and other Fibrous By-products as Feed. pp: 106-126. Elsevier Science Publishers, B.V. Netherlands.
- Hvelplund, T. 1989.** Protein evaluation of treated straws. In: M. Chenost and P. Reiniger (Ed.),

- Evaluation of straws in ruminant feeding. pp: 66-70. Elsevier Applied Science. Netherlands.
- Jewell, S.N. and R.C. Campling. 1986.** Aqueous ammonia treatment of wheat straw: voluntary intake and digestibility in cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 14: 81-93.
- Klopfenstein, T., L. Berger and J. Paterson. 1979.** Performance of animals fed crop residues. *Feed. Proc.* 38: 1939-1943.
- Lawlor, M.J. and J. O'Shea. 1979.** The effect of ammoniation on the intake and nutritive value of straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 4: 169-175.
- Nicholson, J.W.G. 1984.** Digestibility, nutritive value and feed intake. In: F. Sundstol and E. Owen (Ed.). *Developments in Animal Veterinary Sciences*, 14. Straw and other Fibrous By-products as Feed. pp:340-367. Elsevier Science Publishers. B.V. Netherlands.
- Oclo, E., R. Moreno y F. Hernández. 1991.** Influencia sobre la calidad y consumo voluntario de pajas de cebada sin tratar y tratadas con amoníaco estudiada con cabras de raza Oropedana, var. murciana. *A.Y.M.A.* 31: 107-111.
- Rexen, F.P. and K.E. Bach-Knudse. 1984.** Industrial-scale dry treatment with sodium hydroxide. In: F. Sundstol and E. Owen (Ed.). *Developments in Animal Veterinary Sciences*, 14. Straw and other Fibrous By-products as Feed. pp: 127-161. Elsevier Science Publishers. B.V. Netherlands.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980.** Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach (2nd Ed.). McGraw-Hill Book Co., New York.
- Stigsen, P. 1975.** Kulhydratkildens og neutralisationens betydning for udnyttelse af NaOH behandlet halm hos malkekoer. Thesis. Den Kgl. Veterinaer-og Landbohojskole, Copenhagen.
- Sundstol, F. 1981.** Methods for treatment of low quality roughages. Proc. Workshop at Arusha, Tanzania. pp: 61-79.
- Sundstol, F. 1984.** Ammonia treatment of straw: Methods for treatment and feeding experience in Norway. *Anim. Feed Sci. Technol.* 10:173-187.
- Sundstol, F. 1988.** Improvement of poor quality forages and roughages. In: E.R.Orskov (Ed.) *Feed Science*. pp: 257-277. Elsevier Science Publishers, B.V. Netherlands.
- Sundstol, F., E. Coxworth and D.N. Mowat. 1978.** Improving the nutritive value of straw and other low-roughages by treatment with ammonia. *Wld. Anim. Rev.* 26: 13-21.
- Sundstol, F., A.N. Said and J. Arnason. 1979.** Factors influencing the effect of chemical treatment on the nutritive value of straw. *Acta Agric. Scand.* 29: 179-190.
- Sundstol, F. and E.M. Coxworth. 1984.** Ammonia treatment. In: F. Sundstol and E. Owen (Ed.). *Developments in Animal Veterinary Sciences*, 14. Straw and other Fibrous By-products as Feed. pp: 195-247. Elsevier Science Publishers. B.V. Netherlands.
- Theander, O. and P. Aman. 1984.** Anatomical and chemical characteristics. In: F. Sundstol and E. Owen (Ed.). *Developments in Animal Veterinary Sciences*, 14. Straw and other Fibrous By-products as Feed. pp: 45-78. Elsevier Science Publishers. B.V. Netherlands.
- Wales, W.L., P.T. Doyle and G.R. Pearce. 1980.** The feeding value of cereal straws for sheep. I. Wheat straws. *Anim. Feed Sci Technol.* 29:1-14.
- Wanapat, M., F. Sundstol and T.H. Garmo. 1985.** A comparison of alkali treatment methods to improve the nutritive value of straw. I. Digestibility

## PAJA TRATADA PARA CAPRINO

and metabolizability. *Anim. Feed Sci. Technol.* 12: 295-309.

**Wignjoesastro, N and A.W. Young. 1982.**  
Digestibility of diets containing increasing levels of NaOH-treated or untreated wheat straw. *Anim.*

*Feed Sci. Technol.* 7: 331-340.

**Wrathall, J.H.M., E. Owen and D.J. Pike. 1989.**  
Upgrading barley straw for goats: the effectiveness of a sodium hydroxide and urea dip method. *Anim. Feed Sci. Technol.* 24: 57-67.

*Recibido: 27-5-94. Aceptado: 20-12-94.*