

RESPUESTA DE ESQUILMOS DE CEREALES Y LEGUMINOSAS, Y DE SUBPRODUCTOS DEL ALGODON AL TRATAMIENTO ALCALINO CON AMONIO (NH₃) O HIDROXIDO DE SODIO (NaOH).

GERARDO LLAMAS LAMAS¹
IRACEMA SANTACRUZ MORENO¹
ROGELIO GOMEZ ALARCON¹

RESUMEN

Se llevaron a cabo tres pruebas de laboratorio con nueve esquilmos. En la primera, cuatro de ellos, paja de trigo, rastrojo de sorgo, paja de soya y cascarilla de algodón fueron molidos y tratados con 0, 3, 6 y 9% de NaOH o NH₃ en base seca. En la segunda prueba se trataron con los mismos niveles pero sólo con NH₃, otros cinco esquilmos: rastrojo de maíz, paja de garbanzo, paja de chícharo, paja de frijol y cajilla de algodón. En la tercer prueba se determinó la tasa de digestión de la fibra de la paja de trigo tratada con 0 y 3% NaOH o NH₃, al incubar muestras *in vitro* por 8, 12, 24, 36, 48 y 96 h y determinar FDN en el residuo. En la primera prueba se encontró una mayor respuesta en DIVMS con el NH₃ al nivel de 3% álcali, pero fue mayor con NaOH a los niveles de 6 y 9%, para los cuatro esquilmos excepto paja de soya. La fibra detergente neutro (FDN), hemicelulosa y la FDN potencialmente digestibles (FPD) presentaron resultados similares. La paja de trigo y el rastrojo de sorgo presentaron una mayor respuesta que la paja de soya y

cascarilla de algodón. En la prueba 2 fue nuevamente un cereal, el rastrojo de maíz, el que presentó la mejor respuesta en DIVMS al NH₃, mientras que los otros esquilmos sólo respondieron modestamente al tratamiento. La tasa de digestión de la FPD presente en la paja de trigo no mejoró en forma significativa mientras que la extensión de digestión de la FDN sí lo hizo por lo que se concluye que este aumento y la disminución de la hemicelulosa son los que determinan el incremento en la DIVMS. Se concluye también que los esquilmos de cereales son más susceptibles al tratamiento alcalino que los de leguminosas y los subproductos de algodón.

INTRODUCCION

Al considerar la gran cantidad de esquilmos agrícolas que se producen en nuestro país derivados de varios cultivos, se ha planteado la necesidad de utilizarlos intensivamente en la alimentación de los rumiantes. Sin embargo, su uso se ve limitado por su bajo valor energético y protéico. La disponibilidad de energía es baja debido al alto contenido de fibra muy lignificada. El tratamiento alcalino de estos forrajes toscos ha mostrado ser un método efectivo para mejorarlos (Sánchez, 1976; Jackson, 1977; Klop-

¹ Centro de Investigación Pecuaria del Estado de Sonora. CIPES-SARH, Comonfort y Elias Calles 173, Apdo. Postal No. 1754, Hermosillo, Son.

fenstein, 1978). Los álcalis actúan rompiendo los enlaces alcali lábiles existentes entre la hemicelulosa y los grupos fenólicos de la lignina, lo cual solubiliza la primera y, hace más disponible la pared celular (Evans 1979). Este fenómeno aumenta principalmente la cantidad de fibra disponible para ser digerida, pero no aumenta claramente la tasa de digestión, sin embargo se mejora la digestibilidad y aumenta el consumo voluntario (Llamas et al, 1982; Llamas, Ward y Klopfenstein, 1982). Debido a este mecanismo de respuesta, pueden resultar diferencias en la composición de las paredes celulares con un grado variable de respuesta de diferentes tipos de esquilmos al tratamiento, lo que sin duda determinará en gran parte la costeabilidad del tratamiento a mayor escala.

Se llevaron a cabo tres pruebas de laboratorio con el fin de estudiar la respuesta de esquilmos de cereales, leguminosas y subproductos de algodón al tratamiento alcalino con sosa cáustica (NaOH) o amonio (NH_3), y relacionar esta respuesta con la composición de las paredes celulares y sus cambios después del tratamiento.

MATERIAL Y METODOS

En el presente estudio se realizaron tres pruebas. En la Prueba 1 se utilizaron muestras representativas de 4 esquilmos: paja de trigo, rastrojo de sorgo, paja de soya y cascarilla de algodón. Estos esquilmos fueron tratados con NaOH y NH_3 en niveles de 0, 3, 6 y 9% en base seca (BS). El diseño experimental fue completamente al azar en un arreglo factorial de $4 \times 2 \times 4$, con dos repeticiones. Los esquilmos se molieron en un molino de martillos de laboratorio con una malla de 2 mm.

El tratamiento con NH_3 se realizó colocando alrededor de 200 g de cada

esquilmo en frascos de vidrio, y añadiendo la cantidad necesaria de una solución de hidróxido de amonio (NH_4OH), para obtener el nivel de NH deseado. La cantidad de agua añadida fue la misma para los cuatro niveles. Los frascos se sellaron de inmediato sin mezclar y se almacenaron por 21 días a 20°C y después se secaron a 60°C por 48 horas en una estufa de aire forzado.

El tratamiento con NaOH se realizó en bolsas de polietileno añadiendo soluciones en las concentraciones necesarias para obtener los niveles deseados, añadiendo la misma cantidad de agua, lo que aumentó el contenido de humedad al 40%. Las muestras se conservaron en las bolsas por 48 h a 20°C y después se secaron como se describió para el tratamiento con NH_3 .

En la Prueba 2, se analizaron otros cinco esquilmos: rastrojo de maíz, paja de garbanzo, paja de chícharo, paja de frijol y cajilla de algodón, los cuales fueron tratados con los mismos niveles (0, 3, 6 y 9%, B. S.), pero únicamente con NH_3 en la forma ya descrita. El diseño experimental fue completamente al azar en un arreglo factorial de 5×4 , con dos repeticiones.

En la Prueba 3, se determinó la tasa de digestión de las paredes celulares de la paja de trigo utilizada en la primera prueba, en las muestras tratadas con 0 y 3% de NaOH o NH_3 , para lo cual se incubaron muestras con líquido ruminal de acuerdo a la primera etapa de la técnica de Tilley y Terry (1963), por 8, 12, 24, 36, 48 y 96 h y se determinó la fibra detergente neutro (FDN) en el residuo. La digestión de FDN ocurrida a las 96 h se consideró la extensión máxima de digestión, y el residuo la fibra potencialmente indigestible (FPI), siendo la diferencia entre el contenido de fibra

original y la FPI, la fibra potencialmente digestible (FPD) de manera que $FPI + FPD = 100$, conforme a lo indicado por Waldo *et al.*, (1972). La tasa de digestión (K) fue igual a la pendiente de la desaparición de la FPD graficada semilogarítmicamente con el tiempo de incubación.

Análisis. Las muestras tratadas en las dos primeras pruebas se analizaron en cuanto a materia seca, FDN, fibra detergente ácido (FDA) y hemicelulosa con respecto a la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) fue analizada por el método de Tilley y Terry (1963), y la extensión de digestión de FDN como ya se describió anteriormente. Además, se determinó el contenido de grupos titulables con ácido clorhídrico (HCl) por g de muestra como lo indican Law y Van Soest (1981), quienes lo relacionan con el número de enlaces alcali lábiles presentes. De las muestras tratadas con NH_3 , se analizó también la proteína cruda (Nitrógeno x 6.25).

De las muestras sin tratar se analizaron además la proteína cruda, cenizas, lignina en permanganato y celulosa. Los análisis correspondientes al químico proximal se realizaron conforme al A.O.A.C. (1970), y los análisis de fracciones de fibra se efectuaron de acuerdo a Goering y Van Soest (1970).

Los resultados fueron procesados estadísticamente por análisis de varianza de acuerdo a los métodos descritos por Steel y Torrie (1960), y se aplicó la prueba de Duncan para la comparación de medias dentro de esquilmos en las dos primeras pruebas.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presenta la composición inicial y la DIVMS de los nueve esquilmos estudiados. Puede obser-

varse que todas ellas presentan un alto contenido de paredes celulares (FDN) y lignina, y un bajo contenido de proteína cruda. Sin embargo, la relación entre el contenido de hemicelulosa y lignina indica una diferencia notoria entre los esquilmos de cereales, con una relación mayor a 1, y los de leguminosas y subproductos de algodón con una relación invertida. La DIVMS presentó un rango de 27.3 a 65.9% y la proteína cruda de 3.7 a 8.3%.

En los Cuadros 2 al 8 se presentan los resultados de las primeras dos pruebas. En el caso de la Prueba 1, aún cuando los dos álcalis mejoraron la DIVMS de los cuatro esquilmos ($P < .01$), la respuesta fue mayor para los esquilmos de trigo y sorgo ($P < .01$). La paja de soya y la cascarilla de algodón respondieron en más de 10 unidades de porciento sólo cuando se utilizó un 9% de NaOH. Resultados similares se presentaron con la FDN y hemicelulosa, y mostraron que la mayor solubilización de ésta se presentó con la paja de trigo y el rastrojo de sorgo. La respuesta a los dos álcalis presentó una interacción interesante con el nivel de álcali utilizado, ya que al nivel de 3% el incremento en DIVMS y la solubilización de hemicelulosa fue mayor con el NH_3 , pero a los niveles de 6 y 9%, el NaOH produjo una mayor respuesta. Esta interacción parece deberse a la mayor fuerza alcalina de la sosa, sin embargo, esto muestra que a niveles bajos como los utilizados en tratamientos a mayor escala (3 a 4% álcali), el tratamiento con NH_3 compite adecuadamente con el NaOH, teniendo la ventaja adicional de incorporar nitrógeno no protéico al esquilmo.

Los cambios en el contenido de FDA fueron mucho menores (Cuadro 4), la paja de trigo no presentó cambios significativos ($P > .05$) y sólo

CUADRO I
COMPOSICION QUIMICA Y DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA MATERIA SECA (DIVMS) DE LOS NUEVE ES
QUILMOS EN ESTUDIO.^a

ESQUILMO	% MO	% PC	% DIVMS	% FDN	% FDA	% HC	% CEL	% LIG	% HC:LIG
Paja de trigo	87.7	5.6	50.9	76.3	50.0	26.3	38.8	7.9	3.3:1
Pata de sorgo	85.7	4.3	43.8	72.4	50.8	21.7	37.9	7.4	2.9:1
Rastrojo de maíz	90.7	5.5	63.0	73.4	43.0	30.4	31.2	6.7	4.5:1
Paja de chícharo	88.0	6.2	65.9	63.4	53.4	10.0	38.9	14.2	0.7:1
Paja de garbanzo	92.1	3.7	50.5	67.5	54.1	13.4	38.0	15.9	0.8:1
Paja de frijol	91.7	6.0	56.3	66.6	55.6	11.0	39.5	14.8	0.7:1
Paja de soya	94.3	4.3	39.0	78.3	64.9	13.4	48.0	16.4	0.8:1
Cajilla de algodón	82.1	8.3	39.1	70.0	62.8	7.2	37.1	22.2	0.3:1
Cascarilla de algodón	92.9	6.2	27.3	87.2	72.5	14.7	46.0	22.7	0.6:1

a/ MO, Materia Orgánica; PC, Proteína cruda; FDN, Fibra detergente neutro; FDA, Fibra detergente - ácido; HC, Hemicelulosa; CEL, Celulosa; LIG, Lignina.

CAMBIOS EN LA DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE MATERIA SECA (%)
EN ESQUILMOS TRATADOS CON NaOH y/o NH₃^{1/}

Esquilmo	Nivel de Alkali, %, B. S.				
	Alkali 0	3	6	9	
Prueba 1:					
Paja de trigo	NaOH	50.7 ^a	60.8 ^b	71.9 ^e	74.9 ^f
	NH ₃	51.1 ^a	64.0 ^c	67.6 ^d	71.8 ^e
Pata de sorgo	NaOH	43.6 ^a	52.0 ^b	65.0 ^e	69.3 ^f
	NH ₃	44.0 ^a	55.8 ^c	61.5 ^d	60.8 ^d
Paja de soya	NaOH	39.2 ^a	43.0 ^b	45.6 ^{bc}	51.6 ^d
	NH ₃	38.9 ^a	42.4 ^b	42.6 ^d	43.4 ^b
Cascarilla de algodón	NaOH	26.8 ^a	26.3 ^a	32.2 ^b	37.4 ^c
	NH ₃	27.8 ^a	33.9 ^b	36.3 ^c	35.8 ^c
Prueba 2:					
Rastrojo de maíz	NH ₃	63.0 ^a	74.5 ^b	76.3 ^c	77.6 ^c
Paja de chícharo	NH ₃	65.9 ^a	69.0 ^b	71.9 ^c	71.1 ^c
Paja de garbanzo	NH ₃	50.5 ^a	50.3 ^a	52.1 ^b	52.0 ^b
Paja de frijol	NH ₃	56.3 ^a	57.3 ^a	57.8 ^{ab}	58.7 ^b
Cajilla de algodón	NH ₃	39.1 ^a	40.7 ^b	41.6 ^b	43.8 ^c

1/ Medias con diferente letra, dentro de cada esquilmo son estadísticamente desiguales por prueba de Duncan (P < .05), error estándar de una media de tratamiento: .855 (Prueba 1), .477 (Prueba 2).

CUADRO 3

CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE FIBRA DETERGENTE NEUTRO (%) DE ESQUILMOS TRATADOS CON NaOH y/o NH₃.^{1/}

Esquilmo		Nivel de álcali, %, b.s.			
		álcali 0	3	6	9
Prueba 1:					
Paja de trigo	NaOH	76.5 ^a	72.7 ^b	64.1 ^d	56.8 ^g
	NH ₃	76.1 ^a	66.9 ^c	63.0 ^e	61.9 ^f
Rastrojo de sorgo	NaOH	72.5 ^a	73.3 ^a	66.1 ^c	58.2 ^f
	NH ₃	72.4 ^a	69.5 ^b	64.8 ^d	63.1 ^c
Paja de soya	NaOH	78.1 ^a	76.7 ^b	70.4 ^d	63.6 ^e
	NH ₃	78.5 ^a	74.7 ^c	74.6 ²	74.1 ^c
Cascarilla de algodón	NaOH	86.9 ^a	83.3 ^b	75.3 ^d	67.7 ^e
	NH ₃	87.5 ^a	78.2 ^c	77.3 ^c	77.7 ^c
Prueba 2:					
Rastrojo de maíz	NH ₃	73.4 ^a	61.5 ^b	57.8 ²	56.5 ^c
Paja de chícharo	NH ₃	63.4 ^a	62.0 ^{ab}	61.5 ^{bc}	60.2 ^c
Paja de garbanzo	NH ₃	67.5 ^a	71.7 ^{bc}	70.3 ^b	69.2 ^{ab}
Paja de frijol	NH ₃	66.6 ^a	64.5 ^b	62.9 ^b	63.0 ^b
Cajilla de algodón	NH ₃	70.0 ^a	69.6 ^a	66.3 ^b	66.1 ^b

^{1/} Medias con diferente letra, dentro de cada esquilmo son estadísticamente desiguales por prueba de Duncan (P < .05), error estándar de una media de tratamiento: .327 (Prueba 1), .541 (Prueba 2)

la paja de soya y la cascarilla de algodón presentaron disminuciones considerables con 9% NaOH. Por otra parte el rastrojo de sorgo presentó un.

incremento en el contenido de FDA, con los dos álcalis, pero más marcadamente con NH_3 . La causa de este aumento no esta bien clara, aunque podría deberse a la formación de complejos "Maillard" entre los carbohidratos de la FDA y los compuestos

nitrogenados, debido al calor producido por el tratamiento o por el secado de los esquilmos, aunque esto último se hizo a una temperatura considerada poco favorable para la presentación de este fenómeno (Van Soest, 1965). Es importante hacer

CUADRO 4

CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE FIBRA DETERGENTE ACIDO (%) DE ESQUILMOS TRATADOS CON NaOH y/o NH_3 .^{1/}

		Nivel de álcali, %, b.s.			
Esquilmo	álcali	0	3	6	9
Prueba 1:					
Paja de trigo	NaOH	50.0 ^a	51.2 ^a	50.0 ^a	48.1 ^a
	NH_3	50.0 ^a	51.3 ^a	51.6 ^a	51.6 ^a
Rastrojo de sorgo	NaOH	50.4 ^{ab}	53.4 ^{de}	51.2 ^{bc}	48.4 ^a
	NH_3	51.1 ^{bc}	55.0 ^e	52.7 ^{cd}	54.1 ^{de}
Paja de soya	NaOH	64.9 ^a	65.9 ^a	61.8 ^b	56.8 ^c
	NH_3	65.0 ^a	65.3 ^a	66.1 ^a	64.4 ^a
Cascarilla de algodón	NaOH	72.5 ^a	72.3 ^a	68.8 ^b	64.2 ^c
	NH_3	72.5 ^a	67.7 ^b	68.0 ^b	66.9 ^b
Prueba 2:					
Rastrojo de maíz	NH_3	43.0 ^a	43.0 ^a	42.9 ^a	45.0 ^b
Paja de chícharo	NH_3	53.4 ^a	54.2 ^a	55.8 ^b	56.5 ^b
Paja de garbanzo	NH_3	54.1 ^a	62.3 ^c	60.4 ^b	61.5 ^{bc}
Paja de frijol	NH_3	55.6 ^a	60.0 ^c	59.3 ^{bc}	58.0 ^b
Cajilla de algodón	NH_3	62.8 ^{ab}	61.5 ^a	62.6 ^{ab}	63.8 ^b

^{1/} Medias con diferente letra, dentro de cada esquilmo, son estadísticamente desiguales por prueba de Duncan, error estandar de una media de tratamiento: .628 (Prueba 1), .480 (Prueba 2).

CUADRO 5

CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE HEMICELULOSA (%) DE ESQUILMOS TRATADOS CON NaOH y/o NH₃.^{1/}

Esquilmo		Nivel de álcali, %, b.s.			
		álcali 0	3	6	9
Prueba 1:					
Paja de Trigo	NaOH	26.5 ^a	21.5 ^b	14.1 ^c	9.0 ^f
	NH ₃	26.1 ^a	15.6 ^c	11.3 ^d	10.3 ^c
Rastrojo de sorgo	NaOH	22.1 ^a	20.0 ^a	14.9 ^b	9.8 ^{cd}
	NH ₃	21.3 ^a	14.4 ^b	12.0 ^c	9.0 ^d
Paja de soya	NaOH	13.2 ^a	10.7 ^b	8.6 ^{bc}	6.9 ^c
	NH ₃	13.5 ^a	9.4 ^b	8.5 ^{bc}	9.7 ^b
Cascarilla de algodón	NaOH	14.4 ^a	11.0 ^b	6.5 ^c	3.4 ^d
	NH ₃	15.0 ^a	10.5 ^b	9.3 ^b	10.8 ^b
Prueba 2:					
Rastrojo de maíz	NH ₃	30.4 ^a	18.4 ^b	14.8 ^c	11.5 ^d
Paja de chícharo	NH ₃	10.0 ^a	7.8 ^b	5.7 ^c	3.8 ^d
Paja de garbanzo	NH ₃	13.4 ^a	9.4 ^b	9.9 ^b	7.6 ^c
Paja de frijol	NH ₃	10.9 ^a	4.6 ^b	3.6 ^b	5.0 ^b
Cajilla de algodón	NH ₃	7.1 ^a	8.1 ^a	3.7 ^b	2.3 ^b

^{1/} Medias con diferente letra, dentro de cada esquilmo, son estadísticamente desiguales, por prueba de Duncan ($P < .05$). Error estándar de una media de tratamiento: .680 (Prueba 1), .493 (Prueba 2).

notar que este incremento en la FDA produce una disminución ficticia en el contenido de hemicelulosa que se suma a la solubilización real por el tratamiento.

Los resultados de la Prueba 1, para la extensión de digestión de FDN

fueron similares a lo observado con la DIVMS (Cuadro 6) sin embargo, al nivel de 3% álcali la respuesta fue similar con NaOH y NH₃, lo que muestra que la respuesta en DIVMS se debe tanto a la hemicelulosa solubilizada, como al aumento en la

CUADRO 6

CAMBIOS EN LA CANTIDAD DE FIBRA POTENCIALMENTE DIGESTIBLE ($\frac{1}{\%}$) DE ESQUILMOS TRATADOS CON NaOH Y/O NH₃^{2/}

Esquilmo	Nivel de álcali, %, b.s.				
	álcali	0	3	6	9
Prueba 1:					
Paja de trigo	NaOH	69.5 ^a	79.7 ^b	89.4 ^c	91.6 ^d
	NH ₃	69.2 ^a	80.6 ^b	81.2 ^b	80.8 ^b
Rastrojo de sorgo	NaOH	61.1 ^a	73.5 ^b	84.2 ^d	89.0 ^c
	NH ₃	61.5 ^a	74.6 ^b	79.0 ^c	79.0 ^c
Paja de soya	NaOH	34.3 ^a	35.6 ^{ab}	36.3 ^b	37.1 ^b
	NH ₃	33.9 ^a	34.2 ^a	34.0 ^a	34.5 ^a
Cascarilla de algodón	NaOH	33.8 ^a	43.8 ^c	54.9 ^d	55.1 ^d
	NH ₃	33.8 ^a	34.9 ^a	37.6 ^b	37.4 ^b
Prueba 2:					
Rastrojo de maíz	NH ₃	64.5 ^a	78.5 ^b	82.8 ^c	82.5 ^c
Paja de chícharo	NH ₃	56.1 ^a	62.7 ^b	63.2 ^b	63.0 ^b
Paja de garbanzo	NH ₃	33.4 ^a	40.4 ^b	39.6 ^b	40.3 ^b
Paja de frijol	NH ₃	43.7 ^a	44.3 ^a	44.9 ^a	44.3 ^a
Cajilla de algodón	NH ₃	20.5 ^a	35.9 ^b	35.2 ^b	35.7 ^b

1/ Como porcentaje del total de fibra detergente neutro presente.

2/ Medias con diferente letra, dentro de cada esquilmo, son estadísticamente diferentes por prueba de Duncan. Error estándar de una media de tratamiento: .551 (Prueba 1) .521 (Prueba 2).

cantidad de fibra disponible para ser digerida (FPD) con cierta tasa de digestión. En el caso de la cascarilla de algodón la mayor respuesta al NaOH se hizo evidente desde el nivel de 3%.

La cantidad inicial de grupos titulables de los 4 esquilmos fue diferente ($P < .01$, Cuadro 7) y no tuvo relación con el potencial de respuesta al tratamiento. La disminución en estos grupos siguió un patrón similar al observado en los incrementos de DIVMS, sin embargo, estos grupos disminuyeron marcadamente aún en los esquilmos que no tuvieron un incremento fuerte en la DIVMS.

Los resultados de la Prueba 2 muestran nuevamente que el esquilmo que presentó una mejor respuesta al NH_3 en DIVMS, contenido de FDN y solubilización de hemicelulosa fue el de un cereal, el rastrojo de maíz, con una relación hemicelulosa: lignina de 4.5:1. Los esquilmos de leguminosas y la cajilla de algodón presentaron cambios menores en DIVMS y FDN, sin embargo, el contenido de hemicelulosa sí disminuyó marcadamente, pero esto se debió otra vez en gran parte a un aumento considerable en la FDA de la paja de garbanzo, frijol y chícharo.

El incremento en la cantidad de FPD fue muy marcado en el rastrojo de maíz, no así en los esquilmos de leguminosas, donde sólo la paja de chícharo aumentó en más de 5 unidades del por ciento, mientras que la cajilla de algodón aumentó en 15.3 unidades, y esto no se reflejó marcadamente en la DIVMS de este producto.

Nuevamente el número de grupos titulables disminuyó conforme se utilizó más álcali (Cuadro 7), y esto no se relacionó estrechamente con la respuesta en DIVMS de los esquilmos.

Los cambios en el contenido de proteína cruda ($\text{N} \times 6.25$) de los esquilmos tratados con NH_3 en ambas pruebas se presentan en el Cuadro 8. El incremento observado fue cuadrático en todos los casos, ya que el incremento fue menor al utilizar los niveles de 6 y 9%. Por otra parte, los esquilmos de leguminosas y los subproductos del algodón, con excepción del tazol de soya, retuvieron más nitrógeno que los esquilmos de cereales a pesar de haber recibido el mismo nivel de NH_3 . Esto muestra que aún cuando el tratamiento fue satisfactorio para todos los esquilmos, sólo los de cereales mejoraron su digestibilidad en forma considerable. Este nitrógeno estaba íntimamente ligado a los esquilmos, ya que se determinó después del secado a 60°C . Es de esperarse que los esquilmos sin secarse tuvieran un mayor contenido de nitrógeno, ya que parte de este se conserva en la fracción acuosa. Los incrementos obtenidos son similares a los encontrados por Llamas *et al.* (1982), Sundstøl, Coxworth y Mowat (1978) y Solaiman *et al.* (1979).

En el Cuadro 9 se presentan los resultados de la Prueba 3, la tasa de digestión (K) de la FPD fue de 4.37, 4.68 y 4.85% por hora para la paja tratada con 3% NaOH y NH_3 , respectivamente, y no son estas pendientes diferentes ($P > .05$). Además, de acuerdo con Mertens (1977), diferencias de .2 a .3% en las tasas de digestión tienen una repercusión prácticamente nula en la cantidad total digerida *in vivo*. Por otra parte, en la extensión de la digestión y contenido de hemicelulosa de estas tres muestras sí hay diferencias importantes, esto apoya lo antes expuesto en el sentido de que el aumento en la DIVMS se debe a la hemicelulosa solubilizada y al mayor contenido de

CUADRO 7

CAMBIOS EN LA CANTIDAD DE GRUPOS TITULABLES (Miliequivalentes/g de Muestra) EN ESQUILMOS TRATADOS CON NaOH Y/O NH₃.^{1/}

Esquilmo		Nivel de álcali, %, b.s.			
		0	3	6	9
Prueba 1:					
Paja de Trigo	NaOH	0.9280 ^a	0.6043 ^b	0.4277 ^c	0.3104 ^d
	NH ₃	0.9349 ^a	0.4520 ^c	0.4552 ^c	0.3933 ^{cd}
Rastrojo de sorgo	NaOH	1.0665 ^a	0.8203 ^b	0.5709 ^{cd}	0.3960 ^e
	NH ₃	1.0676 ^a	0.6274 ^c	0.5662 ^{cd}	0.5247 ^d
Paja de soya	NaOH	1.0161 ^a	0.5799 ^b	0.3925 ^d	0.2812 ^e
	NH ₃	1.0355 ^a	0.4896 ^c	0.4979 ^{bc}	0.4755 ^c
Cascarilla de algodón	NaOH	1.1009 ^a	0.9511 ^b	0.6944 ^e	0.6115 ^e
	NH ₃	1.1140 ^a	0.9197 ^{bc}	0.8591 ^{cd}	0.8183 ^d
Prueba 2:					
Rastrojo de maíz	NH ₃	1.1727 ^a	0.6673 ^b	0.6833 ^b	0.5785 ^c
Paja de chícharo	NH ₃	1.2721 ^a	0.6637 ^b	0.4755 ^c	0.4351 ^c
Paja de garbanzo	NH ₃	1.0911 ^a	0.6042 ^b	0.2529 ^c	0.1005 ^d
Paja de frijol	NH ₃	1.3186 ^a	0.7510 ^b	0.6235 ^c	0.5580 ^d
Cajilla de algodón	NH ₃	0.9328 ^a	0.3667 ^b	0.2849 ^c	0.2765 ^c

^{1/} Medias con diferente letra, dentro de cada esquilmo son estadísticamente desiguales por prueba de Duncan (P < .05). Error estandar de una media de tratamiento: .02646 (Prueba 1); .01732 (Prueba 2).

CUADRO 8

CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE PROTEINA CRUDA (Nx 6.25), DE NUEVE ESQUILMOS TRATADOS CON AMONIO (NH₃).^{1/}

Esquilmo	Nivel de amonio, %, b.s.			
	0	3	6	9
Prueba 1:				
Paja de trigo	5.6 ^a	11.3 ^b	12.2 ^b	11.9 ^b
Rastrojo de sorgo	4.3 ^a	11.3 ^b	12.1 ^b	13.0 ^b
Paja de soya	4.3 ^a	8.6 ^b	9.9 ^b	10.9 ^b
Cascarilla de algodón	6.2 ^a	14.5 ^b	18.8 ^c	19.2 ^c
Prueba 2:				
Rastrojo de maíz	5.5 ^a	11.9 ^b	12.6 ^b	12.3 ^b
Paja de chícharo	6.2 ^a	14.2 ^b	15.2 ^c	17.4 ^d
Paja de garbanzo	3.7 ^a	11.9 ^b	11.6 ^b	12.8 ^c
Paja de frijol	6.0 ^a	14.3 ^b	16.1 ^c	16.2 ^c
Cajilla de algodón	8.3 ^a	15.0 ^b	17.7 ^c	17.8 ^c

1/ Medias con diferente letra, dentro de cada esquilmo, son diferentes estadísticamente por prueba de Duncan (P < .05). Error estándar de una media de tratamiento: 1.185 (Prueba 1); .206 (Prueba 2)

fibra potencialmente digestible, la cual se digiere con la misma velocidad. Debido a esto, un componente de pasaje será determinante de la digestibilidad real obtenida.

La determinación de grupos titulables podría ser útil para definir la respuesta al tratamiento alcalino de los esquilmos, y obtener una regresión para cada esquilmo de cereal, como lo plantean Law y Van Soest (1981), aunque no parecer ser útil para los esquilmos de leguminosas y

subproductos del algodón, ni para tratamientos con diferentes álcalis.

Al considerar la mejora en DIVMS de los nueve esquilmos tratados con 3% NH₃, se encontró que los tres cereales aumentaron en promedio 12.2 unidades, mientras los restantes sólo lo hicieron en 2.6 unidades. Esta respuesta de desigual magnitud al parecer se debe a la diferente estructura de las paredes celulares de los dos grupos de esquilmos, lo que se

CUADRO 9

TASA DE DIGESTION Y FIBRA POTENCIALMENTE DIGESTIBLE (FPD) DE PAJA DE TRIGO SIN TRATAR Y TRATADA CON 3% NaOH y 3% NH₃.

Tratamiento	FPD,% ^a	K ^b h ⁻¹
Sin tratar	62.3	4.37
3% NaOH	75.5	4.68
3% NH ₃	80.8	4.85

a/ % digestible del total de fibra detergente neutro presente inicialmente.

b/ Tasa de digestión, error estándar de la pendiente: 0.38.

refleja en su diferente relación hemicelulosa-lignina (Cuadro 1)

Debido a esto se recomienda reservar el tratamiento alcalino para los esquilmos de cereales, ya que al considerar el costo de tratamiento a mayor escala, parece difícil justificar el tratamiento de los esquilmos de leguminosas y subproductos del algodón.

SUMMARY

Three laboratory trials were conducted with nine crop residues. In the first trial four residues, wheat straw, sorghum straw, soybean straw and cottonseed hulls were ground and treated with 0, 3, 6 and 9% alkali, either NaOH or NH₃ on a dry basis. In the second trial five residues: corn stalks, cow pea straw, green pea straw, bean straw and cotton trash were treated at the same levels but only with NH₃. In the third trial was determined the rate of digestion of wheat straw fiber on

samples treated with 0 and 3% NaOH or NH₃ and incubated *in vitro* for 8, 12, 24, 36, 48 and 96 h. Neutral detergent fiber (NDF) was determined in the residue. In the first trial the *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) increased more with NH₃ at the 3% level, but with 6 and 9% alkali NaOH increased more the IVDMD than NH₃. Hemicelulose, NDF and the potentially digestible NDF (PDF) presented similar results. Wheat and sorghum straw showed a better response than soybean straw and cotton seed hulls. In the second trial again was a cereal residue, the corn stalks, the one showing the greater response to NH₃. Rate of digestion of PDF of wheat straw did not change with treatment while the extent of digestion of FDN changed clearly. It is concluded that this increase and the hemicelulose solubilization are determining the increase in IVDMD. It is concluded also that cereal residues are susceptible to alkali treatment than legume residues or cotton by products.

LITERATURA CITADA

A.O.A.C. 1970. Official Methods of Analysis, 11 th ed. **Association of Official Analytical Chemists**, Washington, D. C. USA.

EVANS, P.J. 1979. Chemical and physical aspects of the interaction of sodium hydroxide with the cell wall components of straw. Straw decay and its effect in disposal and utilization. Proc. of a Symposium Ed. by E. Grossbard p. 187.

GOERING, H.K and VAN SOEST, P.J., 1970. Forage fiber Analysis. Agricultural Handbook No. 379. **Agricultural Research Service U.S. D.A.**

JACKSON, J. G., 1977. The alkali treatment of straws. **Anim. Feed. Sci., and Technol.** 2:105.

KLOPFENSTEIN, T.J., 1978. Chemical treatment of crop residues. **J. Anim. Sci.** 46:841.

LAW, M.M. and VAN SOEST, P.J., 1981. Titratable groups and soluble phenolic compounds as indicators of the digestibility of chemically treated roughages. **Anim. Feed Sci. and Technol.** 6:123.

LLAMAS, L. G., WARD, J.K., y KLOPFENSTEIN, T.J., 1982. Tratamiento de paja de trigo con amoníaco gaseoso y su efecto en la digestibilidad *In vivo* con borregos y en el comportamiento de vacas gestantes. **Memorias de la Reunión de Investigación Pecuaria en México**, 1982. p. 326.

LLAMAS, L. G., WARD, J.K., BRITON, R., y KLOPFENSTEIN, T.J., 1982. Efecto del trata-

miento con diferentes niveles de amonio y dos contenidos de humedad sobre la digestión *In vitro* de la paja de trigo.

MERTENS, D.R., 1977. Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of ruminal digestion. **Federation Proc.** 36:187.

SANCHEZ, E.J., 1976. Cambios en la composición química y digestibilidad de forrajes de baja calidad nutritiva mediante el uso de diversos compuestos químicos. **Tec. Pec. en Méx.** 31:68.

SOLAIMAN, S. G., HORN, G.W., and OWEN, F.N., 1979. Ammonium hydroxide treatment of wheat straw. **J. Anim. Sci.** 49:802.

STEEL, R.G.D. and TORRIE, J.H., 1960. Principles and procedures of statistics. **Mc Graw-Hill Book Co.**, New York.

SUNDSTOL, F., COXWORTH, E. and MOWAT, D.N., 1978. Improving the nutritive value of straw and other low quality roughages by treatment with ammonia. **World Anim. Rev.** 26:13.

TILLEY, J.M. and TERRY, R.A., 1963. A two stage technique for the *In vitro* digestion of forage crops. **Brit. Grassl. Soc.** 18:105.

VAN SOEST, P. J. 1965. Use of detergents in analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying on yield of fiber and lignin in forages **J.A.O.A.C.** 48:785.

WALDO, D.F., SMITH, L.W. and COX, E.L. 1972. Model of cellulose disappearance from the rumen. **J. Dairy Sci.** 55:125.