



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PROCESAMIENTO FÍSICO Y AMONIACIÓN DEL RASTROJO DE MAÍZ EN LA ALIMENTACIÓN DE OVINOS

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

Presenta:

J. ENCARNACIÓN GARCÍA PORTUGUEZ

Bajo la asesoría de: Maximino Huerta Bravo, M. Sc.



APROBADA



Chapingo, Estado de México, mayo de 1996

**PROCESAMIENTO FÍSICO Y AMONIACIÓN DE RASTROJO DE MAÍZ EN LA
ALIMENTACIÓN DE OVINOS**

Tesis realizada por **J. ENCARNACIÓN GARCÍA PORTUGUEZ**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

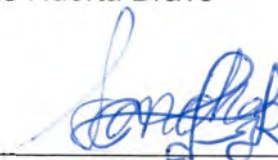
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR:



M. Sc. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:



M. C. Carlos Sánchez Del Real

ASESOR:



Ir. Ricardo Améndola Massiotti

DEDICATORIA

A mis padres:

J. ENCARNACIÓN GARCIA BUENDÍA.+

NICOLASA PORTUGUEZ CABRERA.+

En forma muy especial y con todo respeto a la memoria de mi padre, por su nobleza, honestidad y cariño que siempre me ofreció, lo cual seguirá siendo un estímulo y una enseñanza que heredaré a mis hijos.

A mi esposa e hijos:

Nety, Teresita de Jesús, Octavio y Liliana, por el amor y comprensión que constantemente me demuestran.

A ellos que han soportado todos mis constantes extravíos académicos, les doy mi cariño y respeto, pues han tenido paciencia y alegría para enfrentar esta situación.

AGRADECIMIENTOS

Muy especialmente a la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria que me dio el apoyo necesario para realizar estudios de postgrado, consciente de la necesidad de superación profesional del personal docente que labora en dicho subsistema de educación tecnológica y con ello ofrecer un mejor nivel académico a los educandos.

A M. Sc. Maximino Huerta Bravo, por su amistad, útiles enseñanzas y disposición en la dirección del presente trabajo.

A los miembros de mi jurado Ph.D. Pedro A. Martínez Hernández, Ph.D. Valentina D. Mariscal Aguayo y Dr. Carlos F. Marcof Alvarez.

A M. C. Carlos Sánchez Del Real, Ir. Ricardo Améndola Massiotti y M. C. Germán Méndez Eguia-Liz, por su participación en la revisión del trabajo, así como por las sugerencias positivas que hicieron para mejorarlo.

A la Sra. Ofelia, por su amistad y excelente labor mecanográfica.

A todas las personas que directa e indirectamente colaboraron en el desarrollo del presente trabajo, pues por el temor de omitir alguna no publico sus nombres.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor realizó su formación académica y profesional de licenciatura en Ingeniero Agrónomo Zootecnista en la Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Edo. de México durante 1975-1979. En 1979 ingresó a la DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA AGROPECUARIA (DGETA), realizando actividades directivas, docentes, producción, extensión, capacitación e investigación científica. Durante 1984-1986 cursó la maestría en ciencias en producción animal en la Universidad Autónoma Chapingo y en 1994 la especialización en producción porcina en la Facultad de Medicina y Zootecnia de la UNAM. En la UNIVERSIDAD DEL VALLE DE ATEMAJAC, plantel La Piedad Michoacán, coordinó la estructura y validación oficial ante la SEP de los planes y programas de estudio de la licenciatura en Ingeniero Agrónomo durante 1987 desempeñando funciones de Jefe de dicha carrera y profesor-investigador hasta 1994. Ha sido director de tesis de licenciatura, tesinas, trabajos recepcionales y presidente de jurado calificador. Publica artículos en extenso y resúmenes de investigación científica en los Congresos de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario y dicta conferencias en diferentes encuentros de educación, ciencia y tecnología agropecuaria.

RESUMEN

PROCESAMIENTO FÍSICO Y AMONIACIÓN DEL RASTROJO DE MAÍZ EN LA ALIMENTACIÓN DE OVINOS¹

Dieciocho borregos con un peso vivo promedio de 27.1 kg fueron distribuidos en un diseño experimental de bloques al azar generalizado con arreglo factorial de tratamientos 3x2, para evaluar el tamaño de partícula del rastrojo de maíz (RM1 = 10-15 cm, RM2 = 1.3 cm, y RM3 = 0.8 cm) y dos niveles de amonificación (0 o 2.8 g NH₃-gas/100 g MS). El experimento fue conducido en dos etapas para obtener seis repeticiones por tratamiento. Todas las dietas estuvieron constituidas por 30% de suplemento aportando contenidos similares de nitrógeno no-proteínico. Las variables medidas fueron composición química del rastrojo de maíz, consumo voluntario, digestibilidad aparente de la materia seca, materia orgánica, proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lignina, N-NH₃ ruminal, pH ruminal, balance de nitrógeno, N-urea en plasma y el cambio de peso vivo. La disminución del tamaño de partícula no cambió el consumo de MS, MO, PC y FDN ($P>0.1$). Sin embargo, la ingestión de FDA fue menor ($P<0.05$) con RM2 y RM3 en relación a RM1. Las digestibilidades aparentes de MS, MO, PC y FDN no se afectaron ($P>0.1$) por la disminución del tamaño de partícula, mientras que las de FDA y lignina disminuyeron ($P<0.009$). La cantidad de BN, N-NH₃, N-UREA no cambiaron ($P>0.09$) por el procesamiento físico. El cambio de peso vivo fue mejor ($P<0.01$) en los borregos que recibieron RM2. El contenido de PC aumentó ($P=0.0001$), pero los de FDN y FDA disminuyeron ($P<0.01$) por la amonificación del RM. La amonificación del RM incrementó los consumos totales y digestibles de MS y MO ($P<0.05$), pero no modificó ($P>0.05$) el de PC. Las digestibilidades aparentes de MS, MO, FDN, FDA y lignina fueron incrementadas ($P<0.0001$) con la amonificación, pero se deprimió ($P=0.002$) la de PC. El BN, N-NH₃ y los cambios de peso no fueron modificados ($P>0.07$) por la amonificación. El N-UREA disminuyó ($P=0.008$), mientras que el pH ruminal aumentó ($P<0.008$) en animales que recibieron RM amoniado.

Palabras clave: Rastrojo de maíz, procesamiento físico, amonificación, ovinos.

¹ Tesis de Maestría en Ciencias en Producción Animal, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: J. Encarnación García Portuguese
Director: Maximino Huerta Bravo

ABSTRACT

PHYSICAL PROCESSING AND AMMONIATION OF CORN STOVER FOR SHEEP FEEDING²

Eighteen sheep with 27.1 kg average weight were distributed to six treatments in a completely randomized block design with factorial arrangement 3x2, to evaluate effects of three particles sizes of corn stover (10-15 cm = RM1, 1.3 cm = RM2, and 0.8 cm = RM3) and two ammoniation levels (0 and 2.8 g N-NH₃-gas/100 g DM). The experiment was conducted in two phases to obtain six replicates/treatment. All diets contained a 30% supplement designed to get similar non-protein nitrogen levels. Variables measured included chemical composition of corn stover, feed intake, apparent digestibilities of dry matter, organic matter, crude protein, neutral detergent fiber, acid detergent fiber; lignin, ruminal N-NH₃, ruminal pH, nitrogen balance, plasma N-urea, and body weight changes. Reduction of particle size did not affect ($P>0.1$) dry matter, organic matter, crude protein or neutral detergent fiber intakes. However, intakes of acid detergent fiber were lower ($P<0.05$) with RM2 and RM3 than with RM1. Apparent digestibility's of DM, OM, CP, and NDF were not affected ($P>0.1$) by physical treatment, although that of ADF and lignin were reduced with the lower particle sizes. Nitrogen balance, ruminal N-NH₃, and plasma N-urea were not affected ($P>0.09$) by physical processing. Body weight changes were better ($P= 0.01$) in sheep fed RM2. Crude protein was increased ($P= 0.0001$) by ammoniation, while NFD and ADF were decreased ($P<0.01$). Total and digestible intakes of dry and organic matter were increased ($P<0.05$), while intake of crude protein was not affected ($P>0.05$) by ammoniation. Apparent digestibility's of DM, OM, NDF, ADF and lignin were increased ($P<0.0001$) by ammoniation, but that of crude protein was decreased ($P<0.002$). Nitrogen balance, ruminal N-NH₃ and body weight changes were not affected ($P>0.07$) by ammoniation. Plasma N-urea was decreased ($P= 0.008$) while ruminal pH was higher ($P=0.008$) in sheep fed ammoniated corn stover.

Key Words: Corn stover, physical processing, ammoniation, sheep (*Ovis aries*).

² Thesis of Master of Science, Master of Animal Production, Universidad Autónoma Chapingo

Author: J. Encarnación García Portuguez

Advisor: Maximino Huerta Bravo

CONTENIDO

	DEDICATORIA.....	I
	AGRADECIMIENTOS.....	II
	DATOS BIOGRÁFICOS.....	III
	RESUMEN.....	IV
	ABSTRACT.	V
	CONTENIDO.....	VI
	ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
	ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
	ÍNDICE DE APÉNDICES.....	XI
I	INTRODUCCIÓN.....	2
II	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1	Importancia de los esquilmos agrícolas para la alimentación animal.....	4
2.2	Características de los forrajes toscos.....	6
2.3	Factores que limitan la utilización de los esquilmos agrícolas en la alimentación de rumiantes.....	10
2.3.1	Socioeconómicos.....	10
2.3.2	Técnicos.....	10
2.3.3	Nutricionales.....	13
2.4	Métodos para mejorar el valor nutritivo de los forrajes toscos.....	18
2.4.1	Generalidades.....	18
2.4.2	Procesamiento físico de los forrajes toscos y efecto de su utilización en la alimentación de rumiantes.....	20
2.4.3	Efecto del tratamiento químico de los forrajes toscos con amoniaco anhidro (NH ₃ -gas) sobre su composición química y utilización por rumiantes.....	30
2.4.3.1	Generalidades.....	30
2.4.3.2	Características del tratamiento químico alcalino por el método Noruego.....	31
2.4.3.3	Factores que intervienen en la efectividad de la amoniación.....	33
2.4.3.4	Efecto de la amoniación de los forrajes toscos con NH ₃ -gas, sobre el composición química y digestibilidad.....	35
2.4.3.5	Utilización de residuos agrícolas amoniados con NH ₃ -gas en la alimentación de rumiantes y su efecto sobre el consumo de alimento, balance de nitrógeno y la ganancia de peso	41
III	MATERIALES Y MÉTODOS.....	60
3.1	Localización.....	60
3.2	Duración.....	60
3.3	Manejo zootécnico de los animales.....	61
3.4	Amoniación del rastrojo de maíz por el Método Noruego Noruego.....	61
3.5	Tratamientos experimentales.....	64
3.6	Variables de respuesta.....	67
3.7	Determinaciones y métodos analíticos.....	67

3.8	Diseño experimental.....	69
3.9	Procedimiento de análisis estadístico.....	70
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
4.1	Composición química del rastrojo de maíz.....	71
4.2	Digestibilidad in vivo.....	72
4.3	Consumo voluntario de nutrientes digestibles.....	75
4.4	Balance de nitrógeno y porcentaje de nitrógeno absorbido que fue retenido.....	79
4.5	Cambio de peso.....	80
4.6	Concentración de nitrógeno amoniacal en rumen y nitrógeno ureico en plasma.....	82
4.7	pH del líquido ruminal.....	83
V	CONCLUSIONES.....	84
VI	LITERATURA CITADA.....	86
	APÉNDICE.....	98

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
Cuadro 1.	Composición química y digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DivMS) de diferentes esquilmos agrícolas.....	8
Cuadro 2.	Composición química y digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DivMS) del rastrojo de maíz.....	9
Cuadro 3.	Características y efecto de diferentes tratamientos químicos alcalinos en los forrajes toscos sobre la composición química y digestibilidad.....	33
Cuadro 4.	Efecto de la amoniación de diferentes forrajes toscos con amoniaco anhidro (NH ₃ -gas) sobre su composición química y digestibilidad.....	36
Cuadro 5.	Efecto de la amoniación de forrajes toscos con amoniaco anhidro (NH ₃ -gas) sobre el comportamiento productivo de rumiantes.....	42
Cuadro 6.	Efecto de la amoniación de forrajes toscos con amoniaco anhidro (NH ₃ -gas) sobre el balance de nitrógeno en rumiantes.....	48
Cuadro 7.	Caracterización de los tratamientos experimentales basada en tres formas físicas de rastrojo de maíz (<i>Zea mays</i> , L.) y dos tipos de tratamiento químico alcalino con amoniaco anhidro (NH ₃ -gas).....	65
Cuadro 8.	Composición química de los suplementos.....	66
Cuadro 9.	Composición estimada de las dietas ofrecidas a los borregos.....	66
Cuadro 10.	Composición química del rastrojo de maíz.....	71
Cuadro 11.	Efectos principales del procesamiento físico y de la amoniación (2.8g NH ₃ -gas/100g MS) del rastrojo de maíz, sobre la digestibilidad aparente de los componentes químicos de la ración en la alimentación de ovinos.....	72
Cuadro 12.	Efectos principales de la disminución del tamaño de partícula y de la amoniación (g NH ₃ -gas/100g MS) del rastrojo de maíz, sobre el consumo de nutrientes digestibles en ovinos (g/animal/día).....	75
Cuadro 13.	Efectos principales de la disminución del tamaño de partícula y de la amoniación (g NH ₃ -gas/100g MS) del rastrojo de maíz sobre el consumo de nutrientes digestibles en ovinos (g/kg PV ^{0.75}).....	77

Cuadro		Página
Cuadro 14.	Efectos principales de la disminución del tamaño de partícula y de la amoniación (2.8g NH ₃ -gas/100g MS) del rastrojo de maíz sobre el consumo de materia seca total y de la materia seca del rastrojo y suplemento en la alimentación de ovinos.....	77
Cuadro 15.	Efectos principales del procesamiento físico y de la amoniación (2.8g NH ₃ -gas/100g MS) del rastrojo de maíz, sobre el balance de nitrógeno, las concentraciones de N-NH ₃ y N-UREA, el pH y el cambio de peso vivo en ovinos.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
Figura 1.	Características de algunos factores que limitan la utilización de los esquilmos agrícolas en la alimentación animal.....	12
Figura 2.	Metodología para el tratamiento químico alcalino del rastrojo de maíz por el Método Noruego.....	63

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice		Página
Apéndice 1.	Niveles de significancia para los efectos principales y de la interacción procesamiento físico X amoniación, sobre el consumo de nutrientes digestibles en ovinos (g/animal/día).....	99
Apéndice 2.	Niveles de significancia para los efectos principales y de la interacción procesamiento físico X amoniación, sobre el consumo de nutrientes digestibles en ovinos (g/Kg $PV^{0.75}$).....	100
Apéndice 3.	Niveles de significancia para los efectos principales y de la interacción procesamiento físico X amoniación, sobre el consumo de material seca en ovinos (g/animal/día).....	101
Apéndice 4.	Niveles de significancia para los efectos principales y de la interacción procesamiento físico X amoniación, sobre la digestibilidad aparente de los componentes químicos de la ración.....	102
Apéndice 5.	Niveles de significancia para los efectos principales y de la interacción procesamiento físico X amoniación, sobre el balance de nitrógeno, las concentración de N-NH ₃ y N-UREA, el pH y cambio de peso vivo en ovinos.....	103

I. INTRODUCCIÓN

La producción nacional y mundial de los esquilmos agrícolas procedentes de la cosecha de los granos de cereales ha sido poco estudiada y como consecuencia se tiene escasa información del total de su producción, de su importancia socioeconómica, científica y tecnológica y sobre todo del uso y manejo. Durante las décadas de 1980 y 1990, la utilización de los tratamientos químicos para mejorar el valor nutritivo de los residuos de cultivos básicos fue materia de investigación, sin embargo, la adopción de estas prácticas ha sido decepcionante probablemente debido a la baja eficiencia en relación a los costos (Améndola, Castillo y Martínez, 2005). Recientemente se ha publicado la importancia del uso y manejo de los rastrojos en México, afirmándose que en forma general dichos forrajes forman parte de una coexistencia integral de la producción de cultivos y producción animal, de tal forma que establecer otras estrategias acerca de sus múltiples usos y de soluciones diversas a la excesiva producción de estos es muy complejo, pues estas últimas impiden la transformación de sistemas de producción agropecuarios tradicionalistas a nuevos procesos de producción agropecuaria con énfasis en la utilización eficiente y sustentable de estos recursos naturales que ya es una necesidad prioritaria contemporánea (Reyes, Camacho y Guevara, 2013).

Los esquilmos agrícolas se utilizan en México frecuentemente como único alimento para los animales rumiantes, aun considerando que tienen bajo valor nutritivo (Sánchez, 1976). Sin embargo, cerca de la mitad de estos recursos forrajeros que son destinados a la ganadería, se ofrecen en pastoreo directo o en greña (Castañeda y Monroy, 1984), creyendo que ésta es la forma más fácil y económica de utilizarlos sin considerar que la mayoría de ellos se desperdicia. Para mejorar el valor nutritivo de dichos esquilmos, la suplementación, los procesamientos físicos y los tratamientos químicos han sido las alternativas más usadas; pues se incrementa la digestibilidad y/o el consumo voluntario y por consiguiente la ingestión de nutrientes digestibles. En este sentido, aunque la suplementación con otros nutrientes es considerada como biológicamente necesaria, su aplicación está limitada por su disponibilidad, la cual depende de las condiciones regionales de producción y mercado. Los resultados obtenidos con la disminución del tamaño de partículas son bastante alentadores debido a la importante reducción en el desperdicio y por el gran incremento en el consumo (Fernández, 1981 y Donefer, 1973). Con relación a los tratamientos químicos, se cree que la amoniacación de los esquilmos agrícolas con amoníaco anhidro gaseoso (NH_3 -gas) es una alternativa de mucho interés y futuro en México para mejorar la producción pecuaria a costos aceptables, dado que es un producto derivado del petróleo y por lo tanto existe en gran cantidad. La utilización de NH_3 -gas puede tener ventajas con relación al uso de otras sustancias alcalinas, pues además de incrementar la digestibilidad, aporta nitrógeno al animal (Rexen, 1979; Horton, 1978; y Klopfenstein, 1978) sin producir álcalis residuales.

Considerando que la disminución del tamaño de partícula incrementa el consumo y la amoniacación con NH_3 -gas mejora la digestibilidad, es posible entonces considerar que la

combinación de estas dos alternativas producirá efectos aditivos que repercutan positivamente sobre el comportamiento animal.

Por tal situación, el presente trabajo planteó los siguientes objetivos:

1. Evaluar el efecto de la disminución del tamaño de partícula y la amoniacación por el método Noruego del rastrojo de maíz, sobre el consumo voluntario, la digestibilidad *in vivo* de los componentes químicos del alimento, nitrógeno retenido (BN), nitrógeno amoniacal (N-NH_3) y nitrógeno ureico (N-UREA), el pH ruminal y los cambios diarias de peso en ovinos.
2. Determinar los cambios en los componentes químicos del rastrojo de maíz amoniado en relación al rastrojo de maíz no-tratado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de los esquilmos agrícolas para la alimentación animal

Se ha estimado que se producen anualmente en México aproximadamente 74 millones de toneladas de esquilmos agrícolas como resultado de la cosecha del maíz, sorgo, frijol, trigo, cebada, etc. (Valdez y Núñez, 1984).

Con relación al potencial de producción, Ruelas (1985) afirma que es posible obtener aproximadamente 70 y 85 pacas con un peso promedio de 15 kg cada una por hectárea en cultivos de maíz y sorgo, respectivamente. Castañeda y Monroy (1984), indican que se utilizan alrededor del 40% de los esquilmos agrícolas para la alimentación del ganado en México. En el caso del rastrojo de maíz, se calcula que se utiliza un 85% para la ganadería, del cual cerca de la mitad, se ofrece bajo sistemas de alimentación de pastoreo directo o en greña, lo cual provoca que se desperdicien gran cantidad de ellos.

Aun considerando esta situación, los esquilmos agrícolas han venido ganando importancia para reducir los impactos de la sequía en el ganado que se mantiene bajo pastoreo. De esta manera, el pastoreo directo representa una alternativa de bastante interés para el ganadero, ya que permite la conservación de sus animales, principalmente vacas adultas secas, gestantes y sementales al menor costo posible, ello obliga a los animales a utilizar sus mecanismos propios de conservación de la energía (Alden, 1970), aunque ésta sea una ruta biológica ineficiente de utilización del alimento con propósitos productivos. Por otro lado, el suministro en greña es también una alternativa de suplementación animal durante las épocas de sequía.

La importancia principal de los esquilmos agrícolas radica en que son subproductos inevitables de la cosecha de los granos, casi siempre disponibles debido a la superficie destinada a la agricultura, y en segundo lugar porque son alimento, que los animales no-

rumiantes no pueden aprovechar debido a su gran contenido de fibra (Kossila, 1984), pero que los rumiantes ingieren y transforman en alimentos de buena calidad para consumo humano.

La alta cantidad de esquilmos agrícolas producidos y su reducida utilización en la alimentación animal, trae consigo algunos otros problemas relacionados con su quema y abandono en el campo de cultivo pues provoca erosión del suelo, contaminación ambiental y proliferación de plagas para el siguiente cultivo.

Considerando todo lo antes mencionado, podemos afirmar que México cuenta con un enorme potencial de energía susceptible de utilizarse en la alimentación de rumiantes para incrementar la producción pecuaria.

2.2 Características de los forrajes toscos

Los forrajes toscos son todos aquellos materiales que contienen una gran proporción de celulosa, hemicelulosa y lignina, como por ejemplo: rastrojos, pajas de cereales, puntas de caña, bagazo, bagacillo, etc. (Stuart, 1977). De Alba (1974) los define como aquellos materiales que contienen más de 20% de fibra cruda (FC) o menos de 2.5 Mcal de energía metabolizable (EM) por kilogramo de materia seca (MS). Balch (1977); citado por Gutiérrez (1981), considera a los forrajes toscos como aquellos forrajes que contienen menos de 7.5 MJ (1.792 Mcal EM/kg MS) o menos de 50% de nutrientes digestibles totales (NDT) y Anderson (1978) afirma que las pajas y rastrojos de cereales poseen bajos contenidos de proteína cruda (PC), fósforo (P) y marginales de calcio (Ca), comparados con los requerimientos de vacas adultas, secas y preñadas. Su cantidad de

fibra cruda y lignina es alto y por lo tanto la digestibilidad es baja, la velocidad de paso por el tracto gastrointestinal es lenta y el consumo voluntario reducido.

Una característica común de los esquilmos agrícolas es su gran volumen por unidad de peso, que limita el consumo de materia seca por los animales. Los esquilmos agrícolas poseen baja calidad nutritiva debido a su madurez, lo cual da como resultado un alto grado de lignificación, con presencia de enlaces entre la lignina, hemicelulosa y celulosa, existiendo también algo de sílice y un bajo contenido de nitrógeno, energía digestible y minerales.

En el Cuadro 1, se reporta la composición química y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) en diferentes esquilmos agrícolas y se puede observar que el contenido de lignina es alto en la mayoría de los esquilmos agrícolas que se presentan, mientras que el contenido de proteína cruda es muy reducido. Esto indica que además de su pobre valor nutritivo tienen mucho volumen y por lo tanto los esfuerzos que se hagan para mejorar la utilización de dichos subproductos en la alimentación de animales rumiantes, deberán dirigirse a incrementar su densidad de energía.

Con relación a la digestibilidad *in vitro* de la materia seca en promedio presentan valores de 51.21%, ratificando la necesidad de mejorar el valor nutritivo de estos subproductos agrícolas.

De forma específica en el Cuadro 2, se muestra la composición química y digestibilidad *in vitro* de la materia seca del rastrojo de maíz, cuyo contenido de nutrientes y digestibilidad es algo más alto que el de otros esquilmos agrícolas.

Cuadro 1.Composición química y digestibilidad in vitro de la materia seca(DIVMS) de diferentes esquilmos agrícolas.

ESQUILMO AGRICOLA Y REFERENCIA.	MS (%)	EM (Mcal / Kg)	PC (%)	DIVMS (%)	FDN (%)	FDA (%)	H (%)	Ce (%)	L (%)	Cen (%)	Ca (%)	P (%)
Algodón(Cajilla). Santacruz, et al.(1983).	-	-	8.3	39.1	70.00	62.80	7.20	37.10	22.20	-	-	-
Algodón(Cascarilla). NRC(1984).	91.0	1.52	4.1	-	90.00	64.00	-	40.0	24.00	2.80	0.15	0.09
Arroz (Paja).NRC(1984).	91.0	1.48	4.3	-	71.0	51.0	-	-	5.0	17.0	0.21	0.08
Arroz (Cascarilla). NRC(1984).	92.0	0.43	3.3	-	82.0	49.0	-	33.0	16.0	20.6	0.10	0.08
Avena (Paja).NRC(1984).	-	-	-	-	-	73.0	16.0	41.0	11.0	-	-	-
Cabada (Paja).NRC(1984).	91.0	1.43	4.3	-	80.0	49.0	44.0	37.0	11.0	7.1	0.3	0.07
Cebada (Paja). Jackson, et al.(1972).	-	-	-	-	81.0	-	27.0	44.0	7.0	-	-	-
Centeno(Paja).NRC(1984).	90.0	1.12	3.0	-	-	-	-	-	-	5.0	0.42	0.09
Chicharo(Paja).Santacruz, et al.(1983).	-	-	6.2	65.9	63.4	53.4	10.0	38.9	14.2	-	-	-
Chicharo(Paja).Huerta(1987).	87.0	1.66	8.9	-	63.0	53.0	10.0	39.0	14.0	6.5	-	-
Frijol (Paja).Tovar(1983).	-	-	4.97	47.4	69.24	-	16.2	36.97	14.96	-	-	-
Garbanzo((Paja).Huerta(1987).	91.0	1.81	5.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maíz(Rastrojo).Santacruz,et al.(1983).	-	-	5.5	63.0	73.4	43.0	30.4	31.2	6.7	-	-	-
Maíz(Rastrojo). NRC(1984).	85.0	1.81	6.6	-	67.0	39.0	-	25.0	11.0	7.2	0.57	0.10
Olote maíz. Nelson, et al(1985b).	-	-	3.0	49.9	88.9	47.6	-	-	7.6	-	-	-
Sorgo(Rastrojo). Jackson(1977).	-	-	-	-	74.0	-	30.0	31.0	11.0	-	-	-
Sorgo(Rastrojo). Santacruz,et al.(1983).	-	-	4.3	43.8	72.4	50.8	21.7	37.9	7.4	-	-	-
Trigo(Paja).Santacruz,et al.(1983).	-	-	5.6	50.9	76.3	50.0	26.3	38.8	7.9	-	-	-
Trigo(Paja). NRC(1984).	89.0	1.48	3.6	-	70.0	54.0	-	39.0	14.0	7.8	0.18	0.05
Trigo(Paja). Jackson(1977).	-	-	-	-	76.0	-	30.0	31.0	11.0	-	-	-
Trigo(Paja). Nelson, et al.(1985a).	92.5	-	3.25	50.0	82.2	53.5	-	-	5.9	-	-	-

Notación: MS=Materia seca; EM=Energía metabolizable; PC=Proteína cruda; DIVMS=Digestibilidad in vitro de la materia seca; FDN=Fibra detergente neutro; FDA=Fibra detergente ácido; H=Hemicelulosa; Ce=Celulosa; L=Lignina; Cen=Cenizas; Ca=Calcio y P=Fosforo.

Cuadro 2. Composición química¹ y digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) del rastrojo de maíz.

REFERENCIA	MS (%)	EM (Mcal/Kg)	PC (%)	DIVMS (%)	FDN (%)	FDA (%)	H (%)	Ce (%)	L (%)	Cen (%)	Ca (%)	P (%)
NRC. (1984) ²	83	1.91	6.6	-	67.8	39.8		25.0	11.0	7.2	0.57	0.10
Kevelenge, et al. (1983) ³	-	-	8.5	-	68.9	36.3	24.6	31.7	4.4	-	0.24	0.13
Santacruz, et al (1983) ²	-	-	5.5	63.8	73.4	43.0	30.4	31.2	6.7	-	-	-
Fuentes, et al. (2001) ³	-	-	-	64.67	-	-	-	-	-	-	-	-
Paterson, et al. (1981) ³	-	-	-	46.6	80.5	45.7	33.7	-	-	-	-	-
Oji y Mowat (1979) ²	-	-	6.7	49.9	70.7	46.3	-	-	-	-	-	-
Cajal (1983) ²	-	-	6.9	47.3	63.1	-	25.5	31.3	7.7	-	-	-
Shimada, et al. (1986) ²	87	-	5.7	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-
Morrison (1956) ²	90.6	2.0	5.9	-	-	-	-	-	-	5.8	0.54	0.07

Notación: MS=Materia seca; EM=Energía metabolizable; PC=Proteína cruda; DIVMS=Digestibilidad in vitro de la materia seca; FDN=Fibra detergente neutro; FDA=Fibra detergente ácido; H=Hemicelulosa; Ce=Celulosa; L=Lignina; Cen=Cenizas; Ca=Calcio y P=Fosforo.

¹ Base seca (BS).

² Paja.

³ Tallos.

2.3 Factores que limitan la utilización de los esquilmos agrícolas en la alimentación de rumiantes

2.3.1 Socioeconómicos

Los sistemas tradicionales de utilización de los esquilmos agrícolas en la alimentación animal basados en el pastoreo directo y el suministro en greña son difíciles de cambiar debido a todo lo que implica su recolección, transporte y almacenamiento, dada su amplia relación volumen: peso y bajo valor nutritivo. De esta manera, cuando el pastoreo directo y el suministro en greña de los residuos agrícolas no es posible, el productor normalmente decide incorporarlos al suelo o quemarlos.

Klopfenstein (1981) indica que el gran volumen que ocupan por unidad de peso y la baja calidad nutritiva de los esquilmos agrícolas hacen poco costea la cosecha, tratamientos, transporte y manejo de los mismos, restringiéndose su uso a un radio muy cercano al lugar de producción. El procesamiento físico y tratamiento químico solo es posible en aquellas regiones agrícolas donde se tiene maquinaria agrícola, energía eléctrica y donde la mano de obra no es cara, ni limitante.

Frecuentemente el ganadero decide cosechar el rastrojo cuando es escaso y caro, aun considerando que debe recolectarlo, transportarlo y almacenarlo. En cambio sí es abundante, disponible y por lo tanto muy barato no es nada atractiva su cosecha.

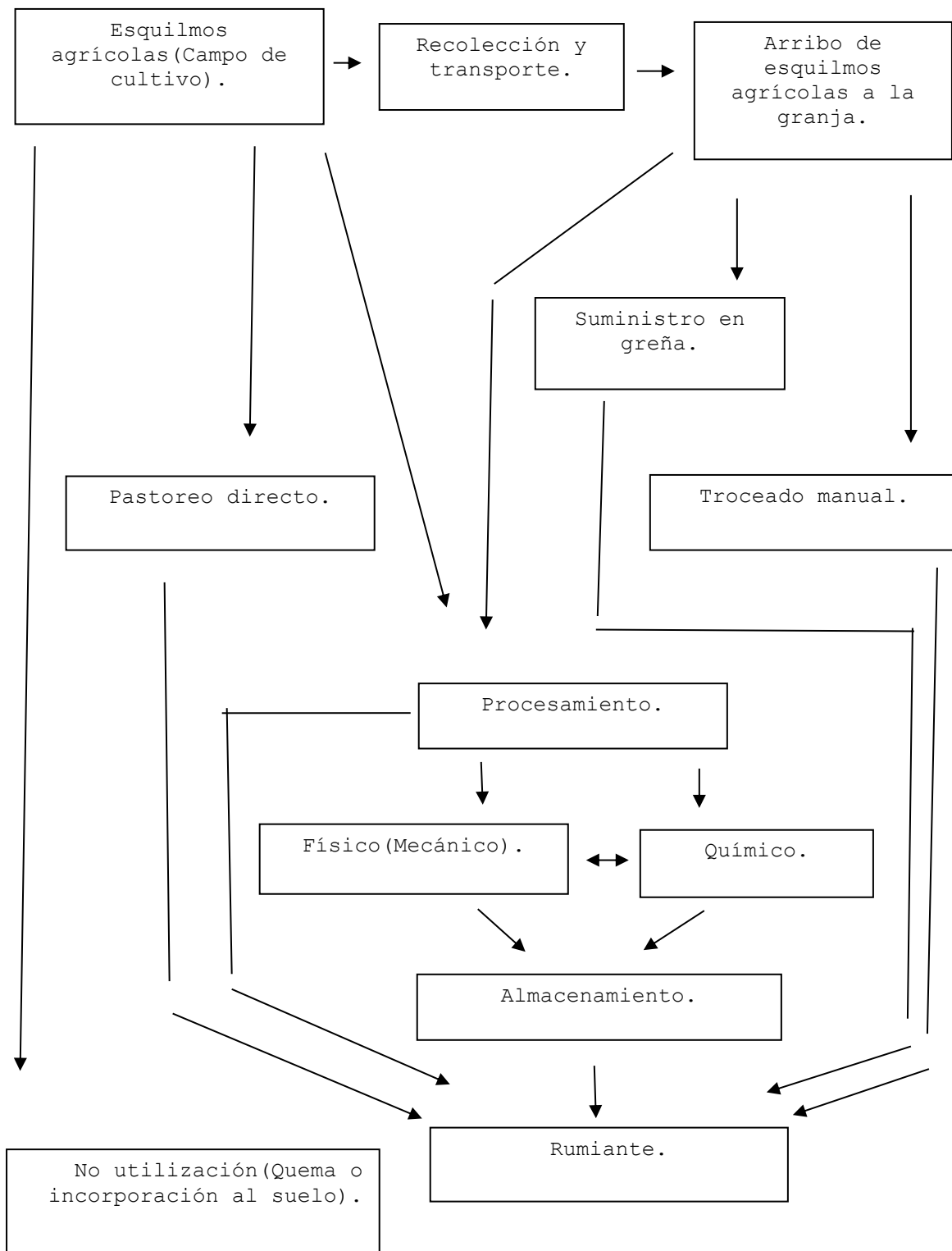
2.3.2 Técnicos

Desde principios de siglo, existe información en el mundo y en México a partir de los últimos 30 años sobre las características del valor nutritivo y las alternativas para el aprovechamiento de los forrajes toscos, tanto en sistemas de confinamiento como en apoyo a la producción animal en pastoreo, aunque sobre este último sistema de

alimentación la literatura es muy reducida. Considerando lo anterior es posible afirmar que existe amplia información técnica para mejorar la utilización de los forrajes toscos y que su aplicación dependerá de los sistemas de producción animal y de algunos otros factores.

En forma general las razones socioeconómicas y de carácter técnico que los productores toman en cuenta para decidir bajo qué sistema de alimentación animal usarán o no los esquilmos agrícolas se ilustran objetivamente en la Figura 1.

Figura 1. Características de algunos factores que limitan la utilización de los esquilmos agrícolas en la alimentación animal.



2.3.3 Nutricionales

La mayor limitante del uso extensivo de los residuos agrícolas en la alimentación de rumiantes es su bajo valor nutritivo debido a su estado de madurez que produce un alto grado de lignificación, con presencia de enlaces entre la lignina, hemicelulosa y celulosa, alto contenido de sílice y reducido contenido de proteína y minerales (Arzola, 1972; Hountert, 1981; Paterson *et al.*, 1981; Preston y Leng, 1984; y Theander y Aman, 1984). Greenhalgh (1980), señala que las principales desventajas para la utilización de los esquilmos agrícolas como alimento son: 1) Nutricionales, por su bajo contenido de N y de algunos elementos minerales, 2) Físicas, por su resistencia a la trituración, y 3) Químicas, debido a su alta lignificación. De tal manera que resulta esencial corregir las deficiencias nutricionales antes de utilizarlos en la alimentación animal.

Los animales rumiantes tienen la capacidad de utilizar los esquilmos agrícolas, pero su comportamiento productivo es reducido. En este sentido, es interesante revisar y discutir todos aquellos factores que determinan el valor nutritivo de dichos forrajes.

McDonald (1973), define el valor nutritivo de los alimentos como la capacidad que tienen dichos alimentos de satisfacer las necesidades nutritivas de los animales. Orcasberro y Fernández (1982), afirman que el valor nutritivo de los forrajes es una expresión del potencial del animal reflejado en la producción de carne, leche y otros productos, mediante la utilización de sus nutrientes y que la producción animal por lo tanto estará regulada en última instancia, por la retención de los nutrientes. Raymond (1969) menciona que la retención de nutrientes está determinada por el producto de los siguientes parámetros: consumo de alimento, digestibilidad del alimento consumido y eficiencia de utilización de los nutrientes digeridos, aunque el efecto de estos tres parámetros no es de la misma magnitud. El resultado de este producto nos señala la

proporción de nutrientes del alimento consumido que son destinados a cubrir las funciones de mantenimiento y retenidos en producción animal (carne, leche, etc.).

Mott (1959) afirma que para estimar el valor nutritivo de los forrajes, es necesario que los animales tengan potencial para producir, que consuman el forraje *ad libitum* y que reciban el forraje como único alimento. Otro criterio acerca de las causas que determinan el valor nutritivo de los alimentos en las raciones para rumiantes (Hardison, 1959) indica que las variables principales que afectan la cantidad de energía neta (EN) consumida, son el nivel de ingestión, el balance de los nutrientes en la ración, los productos finales de la digestión y la función fisiológica para la cual la energía es destinada.

Stuart (1977) considera que las principales causas por las cuales el valor nutritivo de los forrajes toscos es bajo, son las siguientes:

- a) La lignificación disminuye la digestibilidad de la celulosa y de los demás carbohidratos estructurales.
- b) La baja digestibilidad del material ingerido, junto con la resistencia mecánica, determinan que el rumen se llene con fracciones no utilizables.
- c) La fermentación de estos materiales produce una elevada proporción de ácido acético, el cual es utilizado con baja eficiencia para ganancia de peso.

Con respecto al consumo voluntario, éste ha sido definido como la cantidad de forraje consumido por el animal, cuando tiene oportunidad de rechazar el 15% de la cantidad ofrecida (Blaxter *et al.*, 1961). Ortiz (1975) señala que este criterio no es válido para forrajes toscos como el rastrojo de maíz y ofrecidos sin procesar físicamente debido a que por sus características físicas, el animal rechaza una proporción mayor al 15%. Por lo tanto, si el alimento ofrecido se ajustara para que el animal rechace el 15%, el

consumo diario disminuiría progresivamente. Cuando el rastrojo es ofrecido como único alimento el consumo voluntario generalmente es bajo (1.0 y 1.5% del peso vivo), junto con la digestibilidad baja (40-45%) y un consumo de energía inadecuado para soportar necesidades de mantenimiento y mucho menos para tasas de ganancia de peso apreciables (O'Donovan, 1983).

Se ha observado (Baile y Forbes, 1974) que en rumiantes, el consumo de forrajes de baja digestibilidad está determinado por la capacidad física del retículo-rumen, aun cuando las necesidades de energía no estén cubiertas, en tanto que el consumo de forrajes de alta digestibilidad (65-75%) está regulado principalmente por el consumo de energía, a través de mecanismos fisiológicos.

En general se considera que el consumo voluntario es el componente del valor nutritivo que más variaciones presenta. Spahr *et al.* (1961) mencionaron que aproximadamente el 65% de la variación en el valor nutritivo de los forrajes, está íntimamente relacionado con variaciones en el consumo, mientras que sólo el 35% restante está relacionado con variaciones de la digestibilidad.

La palatabilidad es una de las características del alimento que presenta mayor importancia cuando el animal tiene oportunidad de seleccionar el alimento que consume. Se ha observado que en condiciones de corral donde no tenga oportunidad de seleccionar un forraje tosco con poca palatabilidad, dicha palatabilidad afecta la iniciación del hecho de comer, pero no la cantidad total de forraje ingerida siendo ésta última de menor calidad. En cambio, cuando tiene oportunidad de seleccionar, la cantidad ingerida se reducirá pero consumirá las partes vegetativas de mejor calidad nutritiva.

Marten (1969) define a la palatabilidad relativa de un forraje como las características condicionadas por factores propios de la planta, del animal y del ambiente, los cuales estimulan el consumo selectivo por el animal. Los factores de la planta que pueden afectar la palatabilidad son muy numerosos y las diferencias entre y dentro de especies pueden deberse a la composición química, la morfología, la succulencia y la disponibilidad en situaciones no controladas; así como la presencia de algunas características específicas, como el contenido de alcaloides, pueden estar altamente asociados con la impalatabilidad (Marten, 1969; 1978).

Las características físicas de las plantas y la proporción de las partes vegetativas de las mismas también pueden afectar la palatabilidad. Estos factores en condiciones de alimentación de corral, pueden ser eliminados o disminuidos mediante procesamientos físicos.

Con relación a la baja digestibilidad de los esquilmos agrícolas, se cree que es debido principalmente a los cambios en las proporciones y características de los componentes de las hojas y tallos y al cambio de las propiedades mecánicas en dichos componentes que ocurran acentuadamente durante el crecimiento y maduración de la planta.

El efecto de la madurez sobre el valor nutritivo de los forrajes está relacionado con aumentos en el contenido de los componentes de la pared celular (Blaser, 1964; Hogan y Weston, 1969). La acumulación de la lignina es el factor más importante, que reduce la digestibilidad al avanzar a la madurez, sin embargo, el aumento en la concentración de los componentes estructurales no explica *per se* toda la disminución en el valor nutritivo (Fernández y Orcasberro, 1982).

La baja digestibilidad de los forrajes toscos se ha atribuido a la asociación (química y física) de la celulosa con otros componentes estructurales de la pared celular como

lignina o silicatos, que protegen físicamente a la celulosa y hemicelulosa contra la degradación ejercida por enzimas celulolíticas y por la formación de enlaces covalentes con la hemicelulosa.

Aunado a este efecto físico, las deficiencias de otros nutrientes, especialmente nitrógeno, reducen la actividad microbiana haciendo muy lenta la tasa de degradación de estos forrajes a nivel ruminal y disminuyendo la velocidad de paso del material no digerido por el tracto digestivo. Estos efectos se han asociado con un reducido consumo de materia seca total que, en la mayoría de los casos, no alcanza a cubrir las necesidades de mantenimiento (Riquelme, 1984).

El contenido de lignina varía de 5% en pajas de cereales, hasta 25% en cáscara de cacahuete (Kohler *et al.*, 1979), considerándose en forma general que el alto contenido de lignina está asociado con una baja disponibilidad de los carbohidratos estructurales (Van Soest, 1963).

Allinson (1969), Elías (1976) y Moore y Mott (1973), señalaron que la lignificación no consiste solamente en el aumento del contenido de lignina, sino además en la formación de lignocelulosa de tal forma que la lignina bloquea química y físicamente la digestión del resto de los componentes de la pared celular, pudiéndose afectar también la digestión del contenido celular.

La lignina es totalmente indigestible, mientras que la celulosa y hemicelulosa podrían ser aprovechadas por los microorganismos del rumen y producir como resultado de su fermentación ácidos grasos volátiles (AGV), los cuales según Martin *et al.* (1974) pueden representar hasta el 70% de la energía consumida por el animal.

La disminución del contenido de proteína cruda se atribuye a una menor tasa relativa de acumulación de los componentes nitrogenados con respecto a los demás componentes

(Blaser, 1964) y a pérdidas de nitrógeno por lixiviación, volatilización y translocación a nudos y semillas (Lapins y Watson, 1970).

Al avanzar la madurez de la planta, la proporción de la hoja con respecto al tallo disminuye y el efecto sobre la digestibilidad se agudiza, debido a que el tallo es menos digestible que la hoja y porque las disminuciones en la digestibilidad de dicha fracción, al aumentar la edad de la planta son mayores (Fernández y Orcasberro, 1982). De acuerdo con lo anterior es posible afirmar que la principal limitante para utilizar los esquilmos agrícolas es su bajo contenido de nutrientes, ya que, suministrados como único alimento son incapaces de satisfacer por lo menos los requerimientos de mantenimiento de los animales.

2.4 Métodos para mejorar el valor nutritivo de los forrajes toscos

2.4.1 Generalidades

Dado que el factor principal que limita la utilización extensiva de los forrajes toscos en la alimentación de rumiantes es su bajo valor nutritivo, caracterizado por su reducido contenido de proteína cruda, poca digestibilidad y bajo consumo voluntario (Paterson *et al.*, 1981), cuando se quiere mejorar el valor nutritivo de los residuos agrícolas para utilizarlos en la alimentación de rumiantes, es primeramente esencial corregir sus deficiencias de proteína cruda, minerales y carbohidratos fácilmente fermentables, ya que éstos restringen la actividad de los microorganismos del rumen (Martínez y Orcasberro, 1978a), quedando la aplicación de los métodos físicos y químicos como una opción extra (Greenhalgh, 1980). Al respecto y con la finalidad de mejorar dicho valor nutritivo se han desarrollado los métodos de suplementación (Ghadaki *et al.*, 1972; O'Donovan y Ghadaki, 1973; Martínez y Orcasberro, 1978b y Mathison *et al.*, 1981),

procesamientos físicos (Beardsley, 1964; Wainman y Blaxter, 1972; Mathison, 1976; Donefer, 1977; Owen, 1979; y Fernández, 1981), tratamientos químicos (Javed y Donefer, 1970; Shin *et al.*, 1975; Klopfenstein, 1978; Garret *et al.*, 1979 y Paterson *et al.*, 1981), tratamientos biológicos (Linco, 1977; citado por FAO, 1977 y Stapleton, 1981) y prácticas agronómicas (Andrieu, 1976; Cabrales y Castellanos, 1990 y Sánchez, 1994). Los objetivos principales de los métodos utilizados para mejorar el valor nutritivo de los esquilmos agrícolas son el de aumentar el consumo voluntario, la digestibilidad o ambos para obtener un incremento neto en el consumo de energía digestible, dirigiéndose también la producción de las proporciones de ácidos grasos volátiles ruminales más favorables para utilizar eficientemente dicha energía digestible.

La suplementación de los forrajes toscos con otros nutrientes, no se considera tratamiento, aunque estos suplementos mejoran la eficiencia de utilización de los forrajes de mala calidad por los rumiantes y representan un complemento valioso e incluso indispensable para implementar el uso de cualquier otro método de tratamiento con fines de mejoramiento del valor nutritivo.

El efecto de la suplementación sobre el valor nutritivo de los forrajes toscos cuando los niveles de suplementación son bajos o medianos ha incrementado el consumo voluntario de dichos forrajes de mala calidad (Elías, 1976; Fernández, 1981; Martínez y Orcasberro, 1978b y Raymond, 1969). La razón más importante de dicho efecto es debida a que se incrementa la actividad de los microorganismos del retículo-rumen a expensas de la presencia de una mayor cantidad de sustrato, lo cual genera un aumento en la tasa de desaparición del alimento del tracto gastrointestinal. Por el contrario, los niveles altos de suplementación disminuyen el consumo de forrajes toscos, dado que ocurre una sustitución del forraje por el concentrado o bien por factores

fisiológicos del animal que influyen directamente sobre el consumo de alimento, así mismo la digestibilidad de la fibra se afecta con niveles altos de suplementación energética, pues se producen modificaciones en la fermentación ruminal (Fernández y Orcasberro, 1982).

En forma general, las evidencias experimentales indican que la suplementación con proteína y energía, a niveles inferiores al 30% del total de la ración basada en forrajes toscos, mejoran el estado de nitrógeno del animal e incrementan el consumo voluntario de dichos forrajes de mala calidad.

El efecto de la suplementación de los residuos de cosecha al ser ofrecidos como único alimento para el ganado ha sido revisado por O'Donovan (1983).

El procesamiento físico y el tratamiento químico alcalino utilizando amoníaco anhidro ($\text{NH}_3\text{-gas}$), se discutirán específicamente en los incisos 2.4.2. y 2.4.3, debido a la importancia que tienen en la presente investigación.

La utilización de los residuos agrícolas en la alimentación de rumiantes bajo condiciones redituables está supeditada al hecho de que al ser subproductos, su costo se limita únicamente al de su recolección y mejoramiento del valor nutritivo.

2.4.2 Procesamiento físico de los forrajes toscos y efecto de su utilización en la alimentación de rumiantes

La recolección del rastrojo de maíz y de las pajas de cebada, avena, frijol e inclusive del trigo en muchas regiones del país es costumbre y se ofrecen en forma natural al ganado, lamentablemente bajo estas condiciones los animales tienen serias dificultades para consumirlas debido a su dureza, por lo que su desperdicio en el campo o en el pesebre

llega a ser hasta del 80% (Castañeda y Monroy, 1984). El picado (trozos de aproximadamente 10-15 cm) provoca desperdicios de alrededor de 30% y el molido permite que el ganado lo aproveche mejor, reduciendo su desperdicio a solo el 10% en promedio. Uno de los principales métodos para mejorar el valor nutritivo de los residuos lignocelulósicos ha sido a través de la reducción de tamaño de partícula por molido, triturado, picado o compactación (Walker, 1984).

Los efectos del procesamiento físico sobre el valor nutritivo de los alimentos han sido revisados extensamente por Donefer (1973, 1977), Schneider y Flat (1975), Owen (1979) y Walker (1984) entre otros.

En el presente trabajo principalmente consideramos, los efectos del picado y del molido sobre el valor nutritivo de los forrajes toscos.

La reducción del tamaño de partículas tiene mayor importancia práctica en México, pues es más factible económicamente como resultado de su mayor difusión. Así y mediante tratamientos mecánicos se han provocado variaciones en la forma física de los forrajes toscos, consumo de alimento y sobre la digestibilidad y eficiencia con que el animal los utiliza (Fernández, 1981; y Fernández *et al.*, 1981a).

El procesamiento físico de los forrajes toscos y su ofrecimiento como único alimento a los rumiantes, se realiza principalmente para facilitar la alimentación y reducir los desperdicios, sin evitar pérdidas de peso vivo (Ghadaki *et al.*, 1972 y Hadjipanayiotov *et al.*, 1975). En cambio, cuando dicha modificación de las características físicas a través del picado o molido se considera en dietas completas para rumiantes, mejora el comportamiento productivo animal (Swan y Clarke, 1974). La presente revisión de literatura sobre el procesamiento físico de los forrajes toscos y el efecto de su utilización en la alimentación de rumiantes comprende en su mayoría aquellas investigaciones que

consideraron prioritario corregir las deficiencias nutricionales que son características de los residuos agrícolas y se incluyeron en dietas completas.

Dado que el proceso digestivo de los rumiantes es un sistema dinámico, que involucra el flujo de alimento hacia el rumen y el flujo de líquidos, bacterias y residuos de alimentos no digeridos a través del omaso con dirección a la porción inferior del tracto gastrointestinal (Van Soest, 1982), el estudio de algunos parámetros como recambio digestivo, degradación ruminal, tiempo de retención entre otros puede ayudarnos a describir dicho sistema.

El efecto del procesamiento físico y el tratamiento químico de los forrajes toscos influye directamente en el proceso digestivo de los herbívoros pues se producen cambios sobre el recambio ruminal, degradación ruminal y tiempo de retención de las partículas de alimento en el tracto digestivo.

La composición y la forma física de los forrajes toscos tienen efectos importantes sobre su velocidad de pasaje por el tracto gastrointestinal, la digestibilidad y el consumo voluntario.

La reducción del tamaño de partícula del alimento ha sido importante fisiológica y productivamente por el hecho de que el consumo voluntario de los forrajes toscos está regulado entre otros factores por la rapidez de degradación y por un tamaño de partícula adecuado, que permita su paso por el orificio retículo-omasal, de manera que dicho consumo se relaciona en forma inversa con el tiempo de retención, pues al reducirse éste último por efecto del procesamiento físico, se producirá un notable incremento en el consumo voluntario (Stuart, 1977).

La reducción del tamaño de partícula del alimento y el aumento en la superficie total por unidad de peso que esto lleva implícito, incrementa la rapidez de degradación

microbiana de los carbohidratos, lo cual además de compensar en parte la reducción de la digestibilidad debida al menor tiempo de retención, causa incremento en la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) totales del rumen inmediatamente después de la ingestión de alimentos (Moore, 1964).

Milne y Campling (1972), indican que el tiempo de retención de las partículas del alimento en el rumen se disminuyó en 27%, la digestibilidad en 10% y el consumo se aumentó en 30%, produciendo un aumento neto de alrededor de 11% en la energía disponible para el animal, como resultado de moler y comprimir el heno.

Al moler los residuos agrícolas se reduce el tiempo y la energía necesaria para que las partículas del alimento pasen a través del rumen, se incrementa el área superficial, la tasa de fermentación, la densidad del alimento y la capacidad efectiva del animal para aprovechar dichos alimentos (Pigden y Bender, 1971).

Wainman y Blaxter (1972) mencionaron que las principales ventajas obtenidas como resultado de moler y comprimir los forrajes toscos son los incrementos en el consumo voluntario de la materia seca de aproximadamente un 80%, y de la energía metabolizable como porcentaje de la energía bruta, provocando finalmente una mayor utilización de la energía del alimento para mantenimiento y producción.

Kiflewahid (1983) encontró que uno de los efectos de moler las pajas sobre el valor nutritivo, comparado con la forma física original, es incrementar el consumo voluntario y las ganancias de peso vivo de los animales, aunque los efectos sobre la digestibilidad no fueron consistentes. Beever *et al.* (1972), también señalan incrementos del consumo voluntario al reducir el largo de las partículas con efectos variables sobre la digestibilidad.

La digestibilidad de la energía (Carmona y Greenhalg, 1972) y de la proteína (Jackson *et al.* 1972), se ha disminuido como resultado de moler y comprimir el forraje, aunque dicha reducción se compensa por un mayor consumo de alimento.

La reducción del tamaño de partícula y el tratamiento químico (4% NaOH/kg MS) de la paja de trigo fue investigado por Hunt *et al.* (1984), encontrando que las dietas que incluían al menor tamaño de partícula (2.5 cm) produjeron un mayor consumo de MS aunque se redujo la digestibilidad de la misma y de la fracción fibra detergente neutro (FDN) comparado con las dietas que contenían paja con mayor tamaño de partícula (10 cm).

El incremento del consumo de alimento y la reducción en la digestibilidad que se produce como resultado de la molienda de los esquilmos agrícolas, se debe a la mayor velocidad de paso por el tracto gastrointestinal, de aquí que el tiempo de retención sea dependiente del tamaño de la partícula y de su gravedad específica. Minson (1963), indica que la disminución en la digestibilidad al reducir el tamaño de partícula también puede deberse a que el animal tiene menor posibilidad de seleccionar el material más digestible.

Dado que los procesos de masticación, rumia y digestión microbiana son los principales determinantes del consumo y digestibilidad del forraje entero, al picarlo se obtiene una mayor área de exposición, que permite ofrecer mayor sustrato a los microorganismos del rumen, resultando una fermentación más rápida.

Al comprimir los forrajes toscos también se obtiene una pequeña disminución en la digestibilidad (5-10%) y un notable incremento en el consumo voluntario (Moore, 1964).

Greenhalgh y Wainman (1972), afirman que los efectos del molido son mayores cuando los forrajes son toscos y de poca digestibilidad aunque el bajo contenido de nitrógeno

puede ser un factor que limita la posibilidad de mejorar mediante la molienda los forrajes de muy mala calidad, como es el caso de las pajas. En este sentido, tal parece que la molienda de las pajas mejora menos el valor nutritivo que el tratamiento alcalino; por lo menos en lo que a ingestión de materia orgánica se refiere. Mencionan que con un tamaño de partícula adecuado del forraje tosco y ofrecido como único alimento incrementa el consumo aproximadamente en 30%, aunque suministrado en dietas completas donde represente 20-30%, el efecto del procesamiento físico se reduce o incluso es negativo.

El efecto provocado al reducir el tamaño de partícula del forraje también es mayor a medida que el forraje tosco constituye la mayor parte de la ración completa (Grieve *et al.* 1963). Al reducir el tamaño de partícula del forraje o al comprimirlo se disminuye el tiempo de masticación y rumia y consecuentemente la cantidad de saliva secretada, reduciéndose el pH del contenido ruminal de 6.9 a 6.0 (Hinders, 1960; citado por Moore, 1964).

Cullison (1961), reporta que el comprimido del forraje molido causa una mayor disminución en el pH, comparado con el molido, dado que con la misma ración; picada, molida y molida-comprimida, encontró valores en el pH ruminal de 7.1, 6.5 y 5.5, respectivamente. Los incrementos en el consumo del forraje también disminuyen el pH del contenido ruminal y aumenta la producción de ácidos grasos volátiles.

Moore (1964) menciona que la tasa de fermentación, la concentración de ácidos grasos volátiles en el rumen y la relación propionato/acetato, aumenta debido al molido y/o comprimido del forraje. Lo anterior confirma que la mayor reducción del tamaño de partícula disminuye el pH ruminal y por lo tanto produce diferentes cambios en los

patrones de fermentación del alimento, considerándose como uno de los factores que determinan directamente la respuesta productiva animal.

Por otro lado, el efecto del nivel de alimentación sobre la utilización del alimento por el animal es un factor determinante en la eficiencia de utilización del alimento, de tal manera que al ingerir mayor cantidad de nutrientes se tendrá una mayor productividad animal. En este sentido, la proporción que guarda en el total de la ración los forrajes toscos y el concentrado es de suma importancia, pues Martínez y Orcasberro (1978b), han observado que cuando el suplemento constituye más del 14% de la ración, el consumo de forraje empieza a disminuir debido a la sustitución del forraje por dicho concentrado.

McDonald *et al.* (1973) mencionan que el efecto del nivel de alimentación tiene una influencia importante sobre el metabolismo energético del animal a través de la pérdida de energía en las heces, orina, metano (CH_4) e incremento calórico y por lo tanto en la eficiencia de utilización de la energía. Para el caso de los forrajes toscos la cantidad de ofrecimiento y la forma física determina la capacidad de selección que de ellos haga el animal y establece el porcentaje de desperdicio. Al respecto Ortíz (1975), indica que cuando restringió la cantidad ofrecida de rastrojo de maíz picado como único alimento para alimentar borregos al 90% del consumo determinado en un período previo de adaptación de siete días, conforme los días pasaban los animales comían menos, hasta llegar a un punto crítico en el cual ya no incrementaron el consumo, observando que solamente consumían las hojas y partes de los tallos delgados.

Desde el punto de vista nutricional, es preferible que el animal seleccione las partes de la planta que va a ingerir, pues consumirá mayor cantidad de nutrientes. Sin embargo, el gran desperdicio que ocasiona esta forma de utilización sugiere moler el forraje para

darle un aprovechamiento más completo. Los forrajes toscos pueden ofrecerse molidos, si éstos son escasos o cuando se complementen con otros forrajes toscos o concentrados de mejor calidad. De manera muy particular, al utilizar rastrojo de maíz en la alimentación animal, se considera que la reducción del tamaño de partícula incrementa el consumo de nutrientes digestibles totales y la producción animal, pues se disminuye el tiempo empleado en consumirlo y rumiarlo, aun considerando que la mayor velocidad de paso por el tracto gastrointestinal reduce la digestibilidad, principalmente de los componentes de la pared celular (Fernández, 1981). En este sentido, la velocidad de digestión de la celulosa y de los carbohidratos estructurales es proporcional a la superficie libre que presente la partícula del forraje.

Jackson (1977), indica que la molienda de las pajas aumenta el consumo voluntario, resultando un aumento en el consumo de energía digestible de hasta un 30%. Si lo anterior se expresa como consumo de energía neta, éste incremento es ligeramente superior, pues el valor energético neto de la paja también se incrementa con la molienda. Aun así, la molienda resulta en 50% menos eficaz que el tratamiento alcalino. La molienda y el tratamiento alcalino producen un pequeño efecto aditivo, aunque la información es insuficiente para evaluarlo desde el punto de vista nutricional y económico.

Fernández (1981) estudió el efecto de tres formas físicas del rastrojo de maíz (entero, picado y molido) y del nivel de alimentación (2 y 4% del peso vivo) en borregos. Las dietas contenían 88.18% de rastrojo de maíz y se ofreció entero (40-50 cm), picado (3-8 cm) o molido (criba de 0.85 cm de diámetro). La mayor ganancia diaria de peso (82 g) se encontró con el rastrojo molido, comparado con la forma física entero (34.5 g) o picado (41.4 g) y con el mayor nivel de alimentación (4% del peso vivo).

Al ofrecer 2% del peso vivo se reportaron pérdidas de peso vivo en las 3 formas físicas (53.9, 35.6 y 24.2 g/día para entero, picado y molido, respectivamente). La superioridad del rastrojo molido ofrecido al 4% del peso vivo, se atribuyó al menor tamaño de partícula, la cual disminuyó la secreción de saliva, el incremento calórico, la producción de metano, y aumentó la tasa de fermentación, la concentración de ácidos grasos volátiles y la relación propionato/acetato. Para el caso del consumo de materia seca del rastrojo de maíz, también se obtuvieron mayores consumos diarios a medida que el tamaño de partícula del esquilmo se redujo y con mayores niveles de alimentación. El picado no ofreció ventajas frente al entero en términos de desperdicio y consumo de forraje con niveles altos de alimentación, pero sí en los niveles bajos. El molido disminuyó la digestibilidad en los dos niveles de alimentación, pero aumentó el consumo, siendo este último efecto más importante que el primero, de manera tal que el consumo de nutrientes digestibles aumenta en forma importante y es aún mayor en los niveles altos de alimentación. Concluye que el procesamiento físico es una alternativa importante para mejorar la utilización del rastrojo de maíz.

Romero (1975), al evaluar el efecto del procesamiento físico del rastrojo de maíz en la alimentación de borregos y ofrecido a libre acceso, comparó dos formas físicas; picado (5-15 cm) y molido (1 cm). La digestibilidad de la materia seca y de la energía disminuyó conforme el tamaño de partícula fue menor (picado, 60.0 y 67.0; y molido 52.7 y 53.6 %; respectivamente). El consumo de materia seca por día ($\text{g MS/kg PV}^{0.75}$) resultó en 60 para el picado y 52 en el molido, con 204 y 131 kcal de energía digestible (ED)/ $\text{kg PV}^{0.75}$. Los resultados indican una mejor respuesta productiva animal al suministrar el rastrojo de maíz picado, dado que se le permitió al animal seleccionar las partes de la planta que contenían mayor cantidad de nutrientes, pero se ocasiona también mucho desperdicio.

Finalmente señala que la molienda puede ser factible, cuando el rastrojo es escaso o cuando se tenga oportunidad de complementarlo con alimentos de mejor calidad nutritiva.

Estrada *et al.* (1985) citados por Magaña (1998), evaluaron el nivel de alimentación y la forma física del rastrojo de maíz sobre el consumo, ganancia de peso y porcentaje de utilización ($\text{consumido/ofrecido} \times 100$) en borregos. El nivel de ofrecimiento de 120 a 140% lo determinaron en base al consumo registrado durante 10 días de observación previos al inicio del período de toma de datos. El rastrojo de maíz se ofreció en las formas físicas troceado, picado y molido. Los consumos diarios de rastrojo (kg MS) por animal y las ganancias de peso (kg), considerando la forma física del forraje tosco, fueron mayores cuando el nivel de alimentación se incrementó y cuando se ofreció picado, pues los animales tuvieron mayor oportunidad de seleccionar las partes más nutritivas del rastrojo. El porcentaje de utilización del rastrojo de maíz fue mayor al ofrecer el menor nivel de alimentación con el menor tamaño de partícula (120%).

En forma general se afirma (Fernández, 1981) que como respuesta a la reducción del tamaño de las partículas de los forrajes toscos incrementa el consumo voluntario y disminuye la digestibilidad, particularmente en los componentes de la pared celular, considerando que los factores que afectan la magnitud de dicha respuesta son la calidad del forraje, el tamaño de las partículas, el nivel de alimentación y la proporción del forraje tosco en el total de la ración.

2.4.3 Efecto del tratamiento químico de los forrajes toscos con amoniaco anhidro (NH_3 -gas) sobre su composición química y utilización por rumiantes

2.4.3.1 Generalidades

El objetivo principal del tratamiento químico de los forrajes toscos es mejorar la digestibilidad. Dentro de los tratamientos químicos más comunes están los tratamientos alcalinos utilizando hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de amonio (NH_4OH), amoniaco anhidro (NH_3 -gas) y recientemente urea disuelta en agua como precursor de amoniaco (Dolberg *et al.*, 1981; y Owen y Klopfenstein, 1984).

Dyer *et al.* (1975) señalan que si solamente el 5% de los residuos agrícolas que se producen en el mundo pudieran ser recolectados y tratados químicamente, se tendría la energía necesaria para alimentar la cantidad de animales suficientes que serviría para satisfacer las necesidades de proteína animal que demanda la población humana.

Con relación al uso del amoniaco anhidro gaseoso, Kohler *et al.* (1979) mencionan que una alternativa para el tratamiento de los forrajes toscos con hidróxido de sodio (NaOH), es utilizar amoniaco anhidro gaseoso (NH_3 -gas) en un sistema cerrado (Waiss *et al.* 1972), cubriendo la paja con plástico e inyectando el NH_3 -gas/unidad de peso de la paja. El tiempo de reacción necesario para el tratamiento es de aproximadamente 30 días resultando un producto que incrementó su digestibilidad en 20-30% y su contenido de proteína cruda (Nx6.25) alrededor de 100%. En este sentido, también se afirma que el consumo de los rastrojos puede incrementarse a través del molido o comprimido (Kay, 1972), y que el tratamiento alcalino utilizando NH_3 -gas mejora la digestibilidad y el consumo (Garret *et al.* 1974).

2.4.3.2 Características del tratamiento químico alcalino por el método

Noruego

Dado que el tratamiento químico alcalino de los forrajes toscos con NaOH presenta las particularidades de tener costo elevado, incrementa el consumo de agua de los animales que lo reciben, se tiene que ajustar la fórmula del suplemento mineral ofrecido, se deposita sodio residual en los productos cárnicos y lácteos, su excreción puede incrementar la sanidad de los suelos y se debe considerar también extrema precaución para su manipulación y aplicación, pues es una sustancia bastante corrosiva (Shimada *et al.*, 1986) Resulta necesario estudiar la posibilidad de utilizar otras sustancias alcalinas que mejoren los inconvenientes propios del tratamiento con NaOH. Es necesario considerar que la utilización de NaOH para tratar químicamente a los forrajes toscos mejora más ampliamente la digestibilidad que el uso de cualquier otra sustancia alcalina.

Los métodos practicados recientemente para tratar químicamente esquilmos agrícolas consisten en utilizar fuentes de amoníaco, pues tiene ciertas ventajas con respecto al NaOH (Jackson, 1977), como son: No deja álcali residual en la paja, pues el NH_3 -gas que no se fija se evapora cuando la paja tratada es expuesta al aire y aumenta el contenido de nitrógeno (100-120%). La digestibilidad por el contrario se mejora en menos unidades porcentuales (12-15) que con NaOH.

El uso de amoníaco anhidro (NH_3 -gas) para tratar forrajes toscos en México tiene amplias posibilidades, pues es un producto derivado del petróleo que se produce abundantemente en el país. La factibilidad de su aplicación se ve favorecida en aquellas regiones agrícolas donde la producción de granos de cereales es alta dado que es

utilizado también como fertilizante. Se puede afirmar por lo tanto que existe infraestructura para su distribución, lo cual facilita su adquisición y aplicación (Linares, 1986).

En relación a las principales características del tratamiento químico alcalino de los residuos agrícolas mediante el uso de NH_3 -gas, se puede considerar:

1. El tratamiento químico de los forrajes toscos con NH_3 -gas, es sencillo y los agricultores pueden adaptarlo fácilmente.
2. No requiere un lugar o recipiente específico.
3. Es relativamente barato, pues existen abundantes reservas de petróleo y su uso tradicional como fertilizante agrícola crea la infraestructura necesaria.
4. No origina problemas de contaminación.
5. El NH_3 -gas actúa como agente preservador en forrajes con alto contenido de humedad (Funciona como método de conservación y almacenamiento).
6. Durante el tratamiento se destruye la capacidad de germinación de semillas de malas hierbas.
7. Tiene efecto fungicida.
8. Se añade N al forraje.
9. Mejora la digestibilidad en forma más modesta que el NaOH.
10. Se mejora el consumo del forraje.
11. No deposita álcalis residuales.
12. Se debe tener cuidado en su aplicación, pues es inflamable por ignición.
13. Se pierde el 75% del NH_3 -gas aplicado, al abrir la pila o hacina.
14. El NH_3 -gas es un producto químico con un fuerte olor desagradable que dificulta su empleo.

En el Cuadro 3 se registran las características de diferentes tratamientos químicos alcalinos de los forrajes toscos, indicando el método utilizado y su efecto principal sobre la composición química y digestibilidad.

Cuadro 3. Características y efecto de diferentes tratamientos químicos alcalinos en los forrajes toscos sobre la composición química y digestibilidad.¹ (Castañeda y Monroy, 1984).

Características.			
Álcali.	Hidróxido de sodio.	Amoniaco anhidro.	Urea de uso agrícola.
Método de tratamiento.	Inmersión o remojo.	Noruego.	Inmersión o remojo.
Periodo.	18-24 h.	20-30 días.	20-30 días.
Presencia de álcalis.	Presentes.	No presentes.	No presentes.
Composición química y digestibilidad:			
Proteína cruda (%).	No aporta.	100-120%.	55-100%.
Digestibilidad de la materia seca (%). ¹	25%	15%	17%.

¹Digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

2.4.3.3 Factores que intervienen en la efectividad de la amoniación

Se ha realizado suficiente investigación con el propósito de determinar las condiciones o factores que intervienen para obtener la óptima amoniación de los forrajes toscos y con ello mejorar su valor nutritivo. Sundstol *et al.* (1978) realizaron una revisión amplia sobre estos aspectos.

En relación al nivel de NH₃-gas utilizado para realizar la amoniación, en forma general se ha observado que aumentos superiores al 3-4% NH₃/kg MS provocan muy poca mejoría en el contenido de PC y digestibilidad (Nelson *et al.*, 1984 y Santa Cruz *et al.*, 1983), recomendándose un óptimo económico entre 2.5 y 3.5% (Sundstol y Coxworth, 1984).

La temperatura también se ha observado que ejerce un efecto positivo hasta los 45°C con tiempos de tratamiento de 3 a 7 días (Waagepetersen y Vestergaard Thomsen, 1977). Dicha temperatura y el tiempo de tratamiento mantienen una importante

interacción, indicando que pueden compensarse en gran medida las temperaturas bajas de tratamiento aumentando el tiempo de reacción.

El contenido de humedad en el material a tratar influye también sobre el efecto de la amoniacación, pues Kerna *et al.* (1979), indican 15% de humedad como óptimo para realizar la amoniacación. El alto contenido de humedad en el material a tratar puede causar problemas de distribución sobre el material, cuando se inyecta el amoniaco anhidro. Males y Gaskins (1982) encontraron que el tratamiento de paja de trigo con NH_3 -gas y la adición o no de agua, resultó indistintamente en incremento del contenido de proteína, digestibilidad aparente de la MS, nitrógeno retenido y en el consumo de MS.

El NH_3 -gas no solo es absorbido físicamente sino que es fijado mediante uniones químicas, siendo el desarrollo de la reacción similar a la reacción de Maillard, ya que se desdoblan por acción catalítica del amoniaco, azúcares y otros carbohidratos. La presión también ejerce efecto positivo en la amoniacación, pero como generalmente una fuerte presión se combina con elevada temperatura, resulta difícil diferenciar los efectos de una y otra, no considerándose actualmente con fines prácticos (Hodge, 1953).

Sobre la calidad y el tipo del material vegetal a tratar se afirma que la respuesta a la amoniacación de forrajes de muy mala calidad sobre la composición química y digestibilidad es mayor que con forrajes toscos de mejor valor nutritivo. Los residuos agrícolas provenientes de los granos de cereales se mejoran en mayor proporción que los de leguminosas (Santacruz *et al.*, 1983).

2.4.3.4 Efecto de la amoniación de los forrajes toscos con NH_3 -gas, sobre la composición química y digestibilidad

En el Cuadro 4 se resumen los diferentes trabajos realizados con el objetivo de evaluar el efecto de la amoniación mediante el uso de distintas cantidades de amoniaco anhidro gaseoso (NH_3 -gas), sobre la composición química y digestibilidad de los forrajes no amoniados y amoniados.

Cuadro 4. Efecto de la amoniacación de diferentes forrajes toscos con amoníaco anhidro (NH₃-Gas) sobre su composición química y digestibilidad.¹

Forrajes.	Nivel. (NH ₃ -Gas).	MS.	MO	PC.	FDN.	FDA.	LIG.	Digesti- bilidad.	Referencia.
Maíz. (Rastrojo).	0	-	-	6.9	70.7	46.3	-	49.90*	Oji y Mowat (1979).
	3	-	-	15.2	67.2	51.6	-	67.40*	
	0	-	-	1.94	93.52	50.14	15.88	42.16**	
Maíz (Olote).	2	-	-	10.00	90.59	53.65	12.41	61.03**	Nelson, et al. (1984).
	3	-	-	12.81	88.34	53.73	16.96	61.69**	
	4	-	-	17.75	86.65	53.64	12.68	65.94**	
	0	87.3	-	4.2	86.70	47.3	4.50	48.70**	
Maíz. (Tallos). Cosecha temprana.	3	71.0	-	9.30	80.60	53.7	4.90	47.90**	Paterson, et al. (1981).
	0	53.5	-	-	80.50	45.7	-	46.6**	
	3	34.4	-	-	67.30	46.4	-	52.3**	
Cosecha tardía.	0	44.2	-	-	76.4	47.6	-	45.9**	Herrera-Saldaña, et al. (1982).
	3	55.3	-	-	65.3	49.2	-	57.3**	
	0	-	-	3.57	-	44.85	7.45	39.6***	
Trigo. (Paja.)	5	-	-	8.06	-	46.38	7.41	41.9***	Zorrilla-Ríos, et al. (1985).
Trigo. (Paja).	0	-	-	4.6	81.30	38.60	-	37.7**	
	3.5	-	-	9.3	80.70	37.70	-	47.6**	
Trigo. (Paja).	0	92.1	-	3.3	79.6	55.60	-	66.8***	Males y GasKins (1982).
	3.5+50% agua	42.3	-	23.0	69.0	55.70	-	70.9***	
	3.0	78.5	-	8.0	76.0	58.00	-	75.0***	
Arróz. (Paja).	0	-	-	4.37	-	-	-	83.0***	Garret, et al. (1979).
	4.7%NH ₄ OH	-	-	9.31	-	-	-	83.6***	
	7.0	-	-	9.31	-	-	-	82.9***	

Notación: MS=Materia seca; MO=Materia orgánica; PC=Proteína cruda; FDN=Fibra detergente neutro; FDA=Fibra detergente ácido; LIG=Lignina.

* Digestibilidad in vitro de la MO.

** Digestibilidad in vitro de la MS.

*** Digestibilidad in vivo de la MS.

De la información presentada en dicho cuadro se pueden apreciar las siguientes generalidades:

1. El nivel de NH_3 -gas utilizado más frecuentemente y que ha producido mejor efecto sobre composición química y digestibilidad es de 3 a 3.5% NH_3 -gas/kg MS.
2. El contenido de proteína cruda (PC) se incrementa con la amoniación en 2.1 unidades porcentuales por unidad porcentual de NH_3 -gas aplicado.
3. El contenido de la fracción fibra detergente neutro (FDN) se disminuye en 1.8 unidades porcentuales por unidad porcentual de NH_3 -gas aplicado.
4. Los resultados obtenidos sobre los contenidos de la fibra detergente ácido (FDA) indican incrementos.
5. En relación a la lignina (LIG), no son concluyentes, aunque aparentemente se observa tendencia a incrementar.
6. La digestibilidad se incrementa.

De ninguna manera las anteriores consideraciones son concluyentes pues los materiales vegetales tratados son diferentes, y existen otras condiciones que no permiten hacer ampliamente extensivos dichos resultados.

El incremento en la digestibilidad de los forrajes toscos tratados químicamente se debe a que los álcalis saponifican los enlaces éster entre la lignina y los carbohidratos estructurales, causando a su vez hinchamiento por contacto con el agua (Feist *et al.*, 1971). Lo anterior permite que una mayor cantidad de enzimas celulolíticas actúen sobre el sustrato, mejorando el porcentaje de digestión e incrementando el consumo voluntario del forraje. Llamas (1984) indica que el tratamiento alcalino rompe los enlaces álcali-lábiles entre la hemicelulosa y lignina y aumenta la disponibilidad de las fracciones

de la fibra, provocando hinchazón de la pared celular, lo cual facilita la acción de las bacterias celulolíticas, pues se reduce la cristalización de la celulosa.

En la mayoría de los trabajos que se han publicado al tratar rastrojo de maíz con álcalis (Jiménez *et al.*, 1984; Jiménez y Shimada, 1984; Santacruz *et al.*, 1983 y Sundstol *et al.*, 1978), se ha encontrado que el uso de NH_3 -gas tiene una mayor eficiencia para solubilizar las paredes celulares y la hemicelulosa, que la aplicación de NaOH o urea.

La solubilización de la hemicelulosa debido al rompimiento de enlaces entre la lignina, celulosa y hemicelulosa provocado por el tratamiento químico alcalino produce cambios en la morfología pues a través del hinchamiento permite mayor accesibilidad de las enzimas a la matriz estructural de la pared celular, incrementando la tasa de digestión de la celulosa y hemicelulosa (Klopfenstein, 1978).

Saenger *et al.* (1982), señalan que la digestibilidad de los forrajes tratados con álcalis aumenta por la hidrólisis básica de los enlaces lignocelulósicos, obteniendo incremento en la velocidad de vaciado ruminal y por lo tanto es factible un mayor consumo de materia seca.

Sobre la degradabilidad ruminal de los forrajes toscos amoniados, Fahmy y Orskov (1984) mencionan que la degradabilidad (g/kg) de la materia seca y de la materia orgánica de la paja de cebada tratada químicamente con NH_3 -gas (3.5%/kg MS) fue mejor significativamente ($P<0.05$) a las 48 h. de incubación ruminal (480 vs 619 g/kg y 459 vs 603 g/kg para la paja no tratada y tratada, respectivamente) y cuantificada por la metodología descrita por Orskov *et al.* (1980).

Resultados similares indicaron que la degradabilidad a las 48 h. de incubación de la MS y de los componentes FDN y FDA de la paja de trigo amoniada se incrementó ($P<0.05$) con relación al testigo (Zorrilla-Ríos *et al.*, 1985). Adicionalmente también se ha

reportado que las tasas de digestión de la celulosa, de partículas sólidas y la del fluido ruminal se incrementaron como resultado de la amonificación (3%/kg MS) del olote de maíz (Nelson *et al.*, 1984). En este sentido, el efecto positivo de la amonificación en los forrajes toscos al mejorar la composición química y digestibilidad explica parcialmente la mayor velocidad de vaciado ruminal y el incremento del consumo voluntario. Las investigaciones realizadas con diferentes variedades de rastrojos (Singh y Jackson, 1971; Jayasuriya y Owen, 1975) y con otros forrajes toscos (Oji *et al.*, 1977 y Klopfenstein *et al.*, 1972), demuestran que cuando los forrajes de pobre calidad son tratados con NaOH o NH_3 y ofrecidos en una proporción de 60% o más de la ración completa, se mejora la digestibilidad de la materia orgánica y de la energía.

El nitrógeno excedente que se aporta al material vegetal como resultado de la amonificación con NH_3 , también ha sido motivo de extensas investigaciones pues se desconoce exactamente cuál es su disponibilidad real e interacción con el contenido de energía y proteína de la dieta, lo cual determina su utilización o no por los microorganismos del rumen para producir finalmente proteínas microbianas.

Garret *et al.* (1974) señalan que al tratar pajas de mala calidad con NH_3 -gas, se incrementa el contenido de nitrógeno no proteico (NNP), siendo éste disponible para ser utilizado por las bacterias del rumen y sintetizar proteína microbiana. Lo anterior concuerda con los trabajos publicados por Al-Rabbat y Heaney (1978), Horton (1978) y Horton y Steacy (1979), sin embargo Nelson *et al.* (1984), publican resultados contrarios sobre la utilización de ese nitrógeno retenido (Oji *et al.*, 1977 y Borhami y Johnsen, 1981). Al respecto Sundstol *et al.* (1978), afirman que la disponibilidad del N procedente de la amonificación de los forrajes toscos no es mayor que el de la urea. Tal parece que la menor disponibilidad del N procedente del NH_3 , obedece a la falta de aminoácidos, pues

Nelson *et al.* (1985b) encontraron que el olote de maíz no amoniado presentó una mayor cantidad de aminoácidos comparado con el tratado (2 o 4%/kg MS).

Paterson *et al.* (1981), determinaron que al incrementarse el consumo de NH_3 en base a la mayor ingestión de tallos de maíz amoniados, se redujo la eficiencia animal, pues el bajo contenido de energía en la dieta evitó la utilización del NH_3 para producir proteína microbiana o su conversión a urea. También se ha demostrado que el suministro de proteínas de harina de sangre y de gluten de maíz (las cuales son parcialmente degradadas en el rumen) junto con urea, producen doble eficiencia de utilización, comparado esto con la inclusión de harina de soya en dietas de ensilaje de maíz-olote para novillos (Stock *et al.*, 1981 y Stock, 1982).

Lo anterior confirma que la eficiencia de utilización del N procedente de la amoniación de los forrajes toscos depende directamente del tipo y cantidad del alimento que complementará la ración total de la presencia de energía disponible y de la proteína que escape a la degradación ruminal. En este aspecto, varios son los trabajos que se han realizado para determinar la fuente más adecuada de nitrógeno y energía suplementaria y que es necesaria para aprovechar eficientemente el tratamiento alcalino de los forrajes toscos con NH_3 -gas en la alimentación de rumiantes (Nelson *et al.*, 1984; Nelson *et al.*, 1985a; Herrera-Saldaña *et al.*, 1982 y Nelson *et al.*, 1985b).

2.4.3.5 Utilización de residuos agrícolas amoniados con NH_3 -gas en la alimentación de rumiantes y su efecto sobre el consumo de alimento, balance de nitrógeno y la ganancia de peso vivo

En el Cuadro 5 se reporta el efecto de la amonificación de forrajes toscos mediante NH_3 -gas, sobre el comportamiento productivo de rumiantes, considerando resultados de diferentes trabajos de investigación en ovinos y bovinos.

Cuadro 5. Efecto de la amoniacación de forrajes toscos con NH₃-gas sobre el comportamiento productivo de rumiantes.

Forraje .	Porcen taje de la dieta.		Ni vel. NH ₃	Espe cie ani mal	Consumo. (g/Kg PV 0.75) .			Consumo. (Kg/Animal/Día) .			Ganancia de peso. (g/Animal/Día) .			Conversión alimenticia.			Referen cia.
	T	TT			T	TT	Δ	T	TT	Δ	T	TT	Δ	T	TT	Δ	
Avena. (Paja) .			0	B				7.23			502						1
			3						8.28	14.52		929	85.06				
Maíz. (Rastro jo) .			0	B				3.12									2
			2						4.09	31.1							
Maíz. (Rastro jo) .			0	B	62.9			4.40									3
			5			71.2	13.2a		4.98	13.3a							
Trigo. (Paja) .			0	B				3.1	5.0	6.13							4
			3.5														
Maíz. (Olote) .	0	90	0	O	-			0.36									5
			2						0.44	22.50							
			3						0.41	31.94							
			4						0.41	15.28							
Maíz. (O lote) .			0	O	23.1						79						6
			4			49.3	113.42					125	58.23				
Maíz. (Rastro jo) .			0	O		22.4					62						
			4				27.0	20.5				89	43.55				

Cuadro 5. Efecto de la amoniación de forrajes toscos con NH₃-gas sobre el comportamiento productivo de rumiantes.
Continuación.

Forraje	Porcentaje de la dieta.		Nivel de NH ₃	Especie animal.	Consumo. (g/Kg PV ^{0.75}).			Consumo. (Kg/Animal/Día).			Ganancia de peso. (g/Animal/Día).			Conversión alimenticia.			Referencia.
	T	TT			T	TT	Δ	T	TT	Δ	T	TT	Δ	T	TT	Δ	
Maíz. (Rastrojo).			0	O	51.6												7
			3			69.4	34.5										
Trigo. (Paja).	41		0	B				5.70			700			8.2			8
	.6																
		57.8	3						8.0	40.3		840	20.0		9.5	15.8	
Arroz. (Paja).		43.6	3.8						7.4	29.8		650	-7.14		11.4	39.0	9
	72	0	0	O				1.86			89			20.9			
		72	4.7						1.97	5.91		136	52.81		14.5	-30.6	
		72	7.0						2.14	15.0		131	47.19		16.3	-22.0	
	36	0	0	O				1.87			184			10.2			
		36	4.7						1.16	-37.8		89	-51.63		13.0	27.4	
		36	7.0						1.66	-11.23		165	-10.33		10.1	-0.009	
	72	0	5	B				8.05			229			38.4			
	0	72	5						9.29	15.40		533	132.7		17.8	-53.6	
	36	0	5					9.78			842			11			
	0	36	5						9.65			926	9.98		10.6	-9.4	

Cuadro 5. Efecto de la amoniación de forrajes toscos con NH₃-gas sobre el comportamiento productivo de rumiantes.
Continuación.

Forra Je.	Porcen taje de la dieta.		Ni vel. NH ₃	Espe cie ani mal.	Consumo. (g/Kg PV ^{0.75}).			Consumo. (Kg/Animal/Día).			Ganancia de peso. (g/Animal/Día).			Conversión alimenticia.			Refe ren cia.
	T	TT			T	TT	Δ	T	TT	Δ	T	TT	Δ	T	TT	Δ	
Sorgo (Soca)	40	0	0	B				7.70			738			10.4			10
	0	40	3.5						6.84	-11.17		592	-19.78		11.55	11.06	
	60	0	0					6.77			500			13.5		-21.48	
Maíz. (Ras trojo)	0	60	3.5					0	6.54	-3.40	0	617	23.4	0	10.6		11
	44.2		0	O								234			6.2		
	0	45	3.5			103			1.5			184			6.6		
Maíz. (Ras trojo)	0	44.2	0.80			87			1.2								
	50	0	0	O				1.32			165			8.1			12
	0	50	4						1.42	7.58		176	6.66		8.1	0	
Trigo. (Paja)	42	0	0	No enc													
	0	42	4														
	35	0	0	B				6.95			935			7.42			13
Cebada (Paja)	0	35	3.5						7.63	9.78		1091	16.68		6.99	-5.80	
			0	O	24.0												14
			3.5			41.5	72.1 2										

Cuadro 5. Efecto de la amoniación de forrajes toscos con NH₃-gas sobre el comportamiento productivo de rumiantes.
Continuación.

Forraje .	Porcen taje de la dieta.		Nivel. NH ₃	Espe cie ani mal.	Consumo. (g/Kg PV ^{0.75}) .			Consumo. (Kg/Animal/Día) .			Ganancia de peso. (g/Animal/Día) .			Conversión alimenticia.			Referen cia.
	T	TT			T	TT	T	T	TT	T	T	TT	T	TT	T	TT	
Maíz. (Olote) .	90	0	0	B			6.63										15
	0	90	2					7.08	6.79								
	0	90	4					7.60	14.63								
	90	0	0				6.92										
	0	90	2					7.51	8.53								
Maíz. (Tallo) .	0	90	4					7.36	6.36								16
			0	O			0.398										
			2					0.698	75.38								
			3					0.777	95.23								
			4					0.997	150.5								
Trigo. (Paja) .			0	O			0.643										
			0+50%						0.962	49.6							
			3						0.764	18.8							
			3+50%						1190	85.06							

La información disponible indica que al ofrecer forrajes toscos amoniados en la alimentación de rumiantes, éstos deben constituir no menos del 70% del total de la ración, pues a medida que se ofrece mayor cantidad de concentrado los beneficios de la amonificación no se manifiestan o son de menor magnitud (Garret *et al.*, 1979). Puede observarse también que productivamente, el mejor nivel de tratamiento de los forrajes toscos con NH_3 -gas está entre 3.0 a 3.5 (% NH_3 -gas/Kg MS). Cuando los forrajes toscos amoniados fueron suplementados con proteínas naturales y preferiblemente poco degradables a nivel ruminal, el comportamiento productivo animal es aún mejor, pues al haber mayor disponibilidad de nitrógeno para el animal y los microorganismos ruminales, el balance de nitrógeno y las ganancias de peso vivo también se mejoran (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de la amoniacación de forrajes toscos con NH₃-Gas sobre el balance de nitrógeno en rumiantes.

Forraje	Porcen taje de la dieta.		Ni vel. NH ₃	Especie Animal.	Consumo de nitrógeno. (g/Día)		Nitrógeno retenido. (g/Animal/Día).			Referencias.
	T	TT			T	TT	T	TT	Δ	
Trigo (Paja)	41.6	-	0	Ovinos. Suplementado con cebada y harina de soya.	-	-	7.4a	-	-	Males y Gaskins (1982).
	-	57.8	30+5 % de agua		-	-	-	25.7	247.3	
	-	43.6	3.8		-	-	-	44.0	494.6	
Maíz (Olote)	90	0	0	Ovinos. Sin suplementación proteica.	8.6	-	6.86b	-	-	Nelson, et al. (1984).
	-	-	1.0		-	5.50	-36.05	-25.5	-271.7	
	-	-	1.5		-	5.83	-32.21	-	-254.4	
	-	-	2.0		-	9.99	-21.05	-4.64	-32.36	
	90	0	0	Ovinos. 50% de harina sangre+Harina de gluten de maíz del suplemento.	8.8	-	28.88	-	-	
	-	-	1.0		-	8.29	-5.79	13.09	-54.67	
	-	-	1.5		-	9.67	9.88	15.62	-45.91	
	-	-	2.0		-	10.06	14.32	16.86	-41.62	
	90	0	0	Ovinos. 100% harina de sangre+harina de gluten de maíz del suplemento.	9.11	-	26.52	-	-	
	-	-	1.0		-	12.25	34.47	33.50	26.32	
	-	-	1.5		-	11.52	26.45	25.09	-5.39	
	-	-	2.0		-	14.01	53.78	28.08	5.88	

▲ =Incremento.

T=Testigo; TT=Tratado.

Se observa en el Cuadro 6 que Nelson *et al.* (1984) investigaron el consumo de MS, la digestibilidad aparente de la MS y el balance de nitrógeno en ovinos, alimentados con tres niveles de una mezcla de harina de sangre-harina de gluten de maíz y olote de maíz tratado con 0, 2, 3 y 4 g de NH_3 /100 g MS. La amoniación disminuyó linealmente el contenido de FDN en relación al aumento del nivel de NH_3 y las fracciones FDA y lignina por el contrario, incrementaron en su contenido. La digestibilidad *in vitro* de la MS se mejoró también linealmente de acuerdo al nivel de tratamiento (42.16, 61.03, 61.69 y 65.94%, respectivamente). Resultados similares se obtuvieron sobre el contenido de PC ($\text{N} \times 6.25$) como respuesta a la amoniación. El consumo de MS del alimento ofrecido *ad libitum*, se incrementó cuadráticamente (360.3, 441.2, 475.0 y 415.2 g/animal/día para el nivel 0, 2, 3 y 4% NH_3 /kg MS, respectivamente), con un efecto lineal hasta el nivel de 3% y una reducción cuando se suministró el forraje amoniado con 4%. La digestibilidad *in vivo* de la MS de la ración ofrecida *ad libitum* se redujo linealmente de acuerdo al nivel de amoniación (58.0, 53.6, 53.3 y 47.3%), mientras que un efecto principal cúbico se observó para la digestibilidad de la MS de la ración ofrecida en forma restringida (54.5, 50.8, 55.8 y 49.9%). Conforme se ofreció mayor cantidad de la mezcla; harina de sangre-harina de gluten de maíz (0, 50 y 100% como porcentaje del suplemento) se incrementó linealmente el consumo y la digestibilidad aparente de la MS del olote de maíz no amoniado y ofrecido *ad libitum* (333.8, 433.6 y 501.3 g/día y 44.6, 53.5 y 60.9%, respectivamente). La excreción de nitrógeno urinario se disminuyó cuadráticamente al aumentar la cantidad de la mezcla harina de sangre-harina de gluten de maíz al olote de maíz que no fue amoniado y no se afectó por el nivel de amoniación. La cantidad de nitrógeno retenido (% del nitrógeno consumido), fue mejorada como resultado de ofrecer 50% de harina de sangre-harina de gluten de maíz

en la mezcla suplementaria al olote no amoniado (6.86, 28.88 y 26.52). El ofrecimiento de 100% de harina de sangre-harina de gluten de maíz en la mezcla suplementaria sobre el olote amoniado (2% $\text{NH}_3/\text{kg MS}$) fue también superior en cuanto a la cantidad de nitrógeno retenido (-4.64, 16.86 y 28.08). El pH del líquido ruminal no cambió debido a la amoniación (6.2-6.8). Se observó interacción lineal entre la mezcla suplementaria por amoniación para la excreción fecal y nitrógeno retenido, lo cual indica que aparentemente la inclusión de la mezcla suplementaria reduce la excreción de nitrógeno fecal y urinario, mejorando el porcentaje de nitrógeno retenido de los borregos alimentados con olote de maíz amoniado. Los efectos causados por la inclusión de la mezcla suplementaria pueden ser debidos a que se mejoró el *status* de nitrógeno animal, se incrementó el crecimiento microbiano del rumen y/o la utilización del nitrógeno del olote de maíz amoniado. Los resultados obtenidos sobre la suplementación proteica soportan la hipótesis de que es posible mejorar el crecimiento microbiano y la síntesis de proteína a partir del NH_3 procedente de olote amoniado mediante la adición de pequeñas cantidades de aminoácidos (Maeng y Baldwin, 1976), pues la h. de sangre y la h. de gluten de maíz son parcialmente degradadas en el rumen. Paterson *et al.* (1981) señalan que la adición de 50% de heno de alfalfa a dietas basadas en olote de maíz no amoniado produjeron efectos asociativos positivos, pues los animales que recibieron dicha dieta demostraron mayores consumos (kg MS/animal/día) y ganancias de peso (g/animal/día) que cuando se ofreció únicamente olote de maíz no amoniado (7.34 y 510 vs 4.22 y 390, respectivamente). Cuando se incluyó 50% de heno de alfalfa al olote amoniado (3% $\text{NH}_3\text{-gas/kg MS}$), los novillos consumieron 1.81 kg MS/día más que al suministrar solo el olote de maíz amoniado (7.17 kg MS/día), pero la ganancia de peso vivo se disminuyó (640 vs 720 g/animal/día) provocando que

no se mejorará la conversión alimenticia (14.03 vs 9.96). Cuando amoniataron (3% NH_3 -gas/kg MS) tallos de maíz cosechados a dos diferentes estados de madurez y suministrados a novillos, encontraron que el consumo (kg MS/animal/día) y la ganancia de peso vivo (g/animal/día) fueron mayores al suministrar tallos amoniatados y cosechados a temprana edad (1-3 días antes de que el grano tuviera 27% de humedad) comparado con el suministro de tallos amoniatados y cosechados a edad tardía (Un mes después de que el grano presentó 27% de humedad) (4.98 kg y 290 vs 4.57 y 180 g, respectivamente). La suplementación de 50% de heno de alfalfa en borregos alimentados con tallos de maíz no amoniatados y amoniatados (3% NH_3 /kg MS), demuestra efectos aditivos importantes entre la amoniación y suplementación, pues los consumos de MS (kg/animal/día) fueron superiores en los animales que recibieron dicha dieta (1.190) comparados con las dietas basadas en tallos de maíz no amoniado + 50% de heno de alfalfa o la ración que contenía tallos amoniados exclusivamente (0.962 y 0.764 kg MS/animal/día, respectivamente). En general puede afirmarse que cuando los forrajes toscos amoniados se ofrecen en dietas completas y por lo tanto en combinación con otros alimentos, su consumo voluntario depende directamente de la cantidad y naturaleza de los alimentos complementarios.

Nelson *et al.* (1985a) evaluaron el efecto de la amoniación de la paja de trigo (0, 3% NH_3 -gas/kg MS) y la fuente de suplementación proteica (harina de soya, harina de sangre o la mezcla harina de sangre-urea) en la alimentación de novillos. Las dietas completas estuvieron constituidas de 45% ensilaje de maíz, 45% paja de trigo y 10% suplemento, expresados en base seca. La amoniación incrementó ($P < 0.05$) la ganancia de peso de 0.26 a 0.38 kg/día y el consumo de MS de 4.28 a 4.78 kg/día; incluyendo el efecto de la fuente de suplementación proteica. El efecto principal de suplementación

sobre la ganancia de peso fue mayor cuando los animales recibieron harina de soya y paja de trigo amoniataado (470 g/animal/día), comparada con el suministro de harina de sangre (360 g/animal/día) o la mezcla harina de sangre-urea (310 g/animal/día). La inclusión de harina de soya o de la mezcla harina de sangre-urea en las dietas que contenían paja de trigo no amoniataada demostró resultados en ganancia de peso y eficiencia alimenticia muy similares. Al ofrecer la harina de sangre con la paja de trigo no amoniataada, se obtuvieron las peores ganancias de peso vivo (150 g/animal/día), mejorándose (360 g/animal/día) cuando se suministró con paja de trigo amoniataada. Encontraron interacción significativa entre amoniación x suplementación para la eficiencia alimenticia, ya que la harina de soya igualó la mezcla harina de sangre-urea y ambas fueron aparentemente mayores que la suplementación con h. de sangre sola cuando los novillos se alimentaron con paja de trigo sin amoniatar. Los novillos que recibieron paja de trigo amoniataada y harina de soya tuvieron mayor eficiencia alimenticia que aquellos que consumieron h. de sangre o la mezcla harina de sangre-urea. Las dietas que contenían paja de trigo no amoniataada más harina de soya o la mezcla harina de sangre-urea, fueron limitantes en energía y en las que se incluyó harina de soya, la presencia de NH_3 en el rumen fue escasa. La disponibilidad de la energía se incrementó con la amoniación de la paja y el amoniaco incorporado fue suficiente para cubrir las necesidades de éste en el rumen.

Con relación a la utilización del rastrojo de maíz tratado con amoniaco anhidro en la alimentación de rumiantes y la respuesta productiva animal, Jiménez y Shimada (1984), empleando NaOH (8.0%), NH_3 (3.5%) y urea para tratar rastrojo de maíz molido, encontraron que el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y sus componentes (hemicelulosa, celulosa y lignina) se redujeron con el tratamiento a base de NaOH o NH_3 ,

no obteniendo cambios al utilizar urea. El contenido de proteína cruda ($N \times 6.25$), se duplicó (5.2 a 12.9%) por efecto del tratamiento de rastrojo de maíz con NH_3 , comparándolo con rastrojo sin tratar. Los tratamientos se evaluaron productivamente alimentando borregos Tabasco previamente implantados e incluyendo dichos tratamientos experimentales en 45% del total de la ración. Adicionalmente y por cada tonelada de alimento preparado sin importar el tratamiento, se agregaron 25 g de monensina sódica. Los animales alimentados con rastrojo de maíz tratado con NH_3 o NaOH produjeron ganancias de peso (g/animal/día) y consumo de alimento (g/animal/día) mayores ($P < 0.05$), (234 y 1450; 209 y 1405, respectivamente) que al utilizar urea (184 y 1208), aunque la conversión alimenticia de los borregos alimentados con las tres dietas experimentales conteniendo rastrojo de maíz molido y tratado con NaOH, NH_3 o urea, no fue diferente estadísticamente ($P > 0.05$).

Martínez *et al.* (1984) también observaron reducción en el contenido de FDN, FDA e incremento del contenido celular al tratar rastrojo de maíz con NH_3 al 4%. Adicionalmente realizaron una prueba de comportamiento productivo comprendió la realización de dos experimentos. Durante el primero, el rastrojo de maíz tratado con NH_3 (4%) se ofreció al 50% del total de la ración. El consumo de materia seca (MS) se incrementó moderadamente al alimentar borregos con el rastrojo amoniado y en relación al rastrojo no tratado sin encontrar diferencias estadísticas ($P > 0.05$) para la ganancia de peso vivo y conversión alimenticia (165 vs 176 g/animal/día y 8.1 vs 8.1, respectivamente). En el segundo experimento, el rastrojo de maíz amoniado constituyó el 42% de la ración total y no se observaron efectos favorables en el comportamiento productivo animal.

Jiménez *et al.* (1984) estudiaron los cambios en los componentes químicos de la soca o pata de sorgo al tratarse con amoníaco anhidro (NH_3) y su efecto sobre el comportamiento productivo de vaquillas cebú. El tratamiento de la pata de sorgo con NH_3 (3.5%/kg de materia seca), incrementó la proteína cruda ($\text{N} \times 6.25$) de 5.8 a 12.0% y la digestibilidad *in vitro* de la MS de 59.2 a 65.5%, disminuyendo el contenido de paredes celulares de 76.8 a 72.6% en comparación a la pata de sorgo no tratada. En la prueba de comportamiento productivo utilizaron cuatro dietas integrales con un diseño completamente al azar y arreglo factorial 2x2. Los factores fueron: Soca tratada (S- NH_3) vs soca normal (SN), y el uso de 40 o 60% de soca en las dietas. Las raciones contenían además, grano de sorgo, harinolina, urea (solamente al ofrecer la pata de sorgo normal), melaza, harina de pescado y sal mineralizada. Los resultados indican interacción entre los dos factores, para ganancia de peso vivo ($P < 0.05$) y conversión alimenticia ($P < 0.05$). Lo anterior demuestra que la inclusión de soca amonificada (S- NH_3) solo resultó benéfica cuando representa el 60% del total de la ración, pero no con 40% pues fue cuando se utilizó más concentrado. Concluyen que la S- NH_3 debe incluirse en alta proporción a las raciones o de lo contrario no se manifestarán sus efectos benéficos.

Garret *et al.* (1979) determinaron el valor nutritivo de la paja de arroz tratada con hidróxido de sodio (NaOH) o amoníaco acuoso ($\text{NH}_3\text{-A}$) en dietas para rumiantes. Los corderos y novillos, alimentados con dietas que contenían 72 o 36% de paja de arroz tratada con NaOH (4%) y $\text{NH}_3\text{-A}$ (4.7, 5.0 y 7.0%), mostraron un patrón general de respuesta similar para ambas especies animales. Las dietas que contenían 72% de paja de arroz amoniata, se consumieron en mayor cantidad, obteniéndose una mejor conversión alimenticia en comparación de las dietas que incluyeron paja de arroz sin tratar. Las dietas que contenían paja de arroz amoniata tuvieron mayores valores de

energía neta. De la misma manera, la digestibilidad de la materia orgánica, celulosa y energía fue más alta en dietas que contenían 72% de paja de arroz amoniataada, aunque las diferencias no fueron siempre estadísticamente diferentes. La digestibilidad del nitrógeno (N) fue más baja ($P<0.05$) cuando las dietas contenían paja amoniataada al nivel de 72%. En las dietas que contenían 36% de paja tratada, no produjeron cambios significativos en la digestibilidad o comportamiento productivo al compararse con el tratamiento testigo. Estas observaciones indican una importante limitación práctica en el uso de pajas tratadas con álcali y en combinación con dietas altas en concentrado, donde el exceso de éstos, reduce la utilización de dichos forrajes toscos. Al suministrar las dietas que contenían paja amoniataada y testigo el pH ruminal y la concentración de ácidos grasos volátiles no fueron diferentes. El tratamiento alcalino con $\text{NH}_3\text{-A}$ de la paja de arroz, duplicó aproximadamente el contenido de nitrógeno (0.7% para el testigo y 1.49% para la paja amoniataada), aunque la disponibilidad de ese nitrógeno adicional no es conocida. Con relación a la digestibilidad de la PC, Garret *et al.* (1974) con paja de arroz y Oji *et al.* (1977) con rastrojo de maíz observaron reducciones por efecto de la amoniación.

Horton y Steacy (1979), evaluaron el efecto del tratamiento con amoniaco anhidro acuoso (3.5%) sobre el consumo y la digestibilidad del rastrojo de diferentes cereales en la alimentación de novillos, observando que la amoniación incrementó el contenido de PC en todos los rastrojos de 50-276%. La digestibilidad aparente de la MS, MO, FC y energía de las raciones se incrementó significativamente (55.8 vs 59.6; 57.4 vs 61.6; 41.4 vs 49.9 y 55.4 vs 59.0%, respectivamente ($P<0.001$)), incrementándose también la digestibilidad de la PC (64.9 vs 67.3%) ($P<0.01$). El consumo de MS ($\text{g/kg PV}^{0.75}/\text{día}$) del rastrojo, MS total y de MS digestible fue mayor significativamente ($P>0.01$) debido al

tratamiento amoniacal (50.8 vs 60.6; 84.7 vs 95.5 y 47.5 vs 57.3, respectivamente). Los resultados indican que los diferentes rastrojos de cereales no responden igual al tratamiento amoniacal en términos del incremento en el contenido de PC, consumo y digestibilidad de la MS.

Herrera-Saldaña *et al.* (1982), al estudiar el efecto de la amonificación sobre el consumo y valor nutritivo de la paja de trigo en la alimentación de novillos, realizaron una prueba de digestibilidad *in vivo* en la cual se consideraron tres dietas experimentales: 1) Paja de trigo amoniata (5% NH_3 /kg MS); 2) Paja testigo, y 3) Paja testigo + harina de pluma. La amonificación incrementó el contenido de PC de la paja de trigo de 3.6 a 8.1%. El consumo voluntario ($\text{g/kg PV}^{0.75}$) de MS, MO, PC y la energía bruta (EB) ($\text{Kcal/kg PV}^{0.75}$) se mejoraron ($P < 0.01$) por el tratamiento amoniacal de la paja de trigo (71.2, 62.9 y 64.5; 64.6, 59.6 y 62.4; 4.6, 1.8, 4.1 y 295, 262 y 322, respectivamente). Los coeficientes de digestibilidad aparente de la MS y MO no fueron diferentes ($P > 0.05$) en ninguna dieta. La digestibilidad de la PC, FDA y energía bruta si se incrementó ($P < 0.05$) al tratar químicamente la paja de trigo. El incremento del coeficiente de digestibilidad de la PC indica que algo del N-fijado a la paja de trigo es disponible para los microorganismos del rumen. La concentración de urea-N en plasma sanguíneo y de NH_3 -N en el rumen (mg/dl) fueron más bajos ($P < 0.05$) en la paja de trigo testigo (2.1 y 8.4 mg/dl) que con las dietas 1 y 3 (3.5, 14.5 mg/dl y 2.8, 12.4 mg/dl , respectivamente). La cantidad de ácidos grasos volátiles totales en el rumen, no fue diferente para ninguna dieta. Esto indica que la adición de N a la paja de trigo en forma de NH_3 o de harina de pluma no fue suficiente para producir una fermentación ruminal adecuada. La explicación más satisfactoria al respecto sostiene que la poca cantidad de carbohidratos fácilmente aprovechables es un factor que limita el desarrollo de los microorganismos del rumen (Barry y Johnstone,

1976). Los resultados confirman que la amoniación de la paja de trigo con NH_3 mejoró el valor nutritivo y que es necesaria la suplementación energética para que la utilización del N aportado por dicho tratamiento sea más eficiente.

Males y Gaskins (1982), realizaron tres ensayos experimentales con el objetivo de determinar el crecimiento, digestibilidad de la MS, balance de N y algunas características ruminales de ovinos y bovinos alimentados con 4 dietas diferentes basadas en la inclusión de paja de trigo amoniata. En el ensayo número 1, se probaron las siguientes dietas: 1) Heno de alfalfa + pasto bromo (50%); 2) Paja de trigo testigo troceada (41.6%); 3) Paja de trigo + 3% $\text{NH}_3/\text{kg MS}$ + 50% de agua (57.8%) y 4) Paja de trigo + 3.8% $\text{NH}_3/\text{kg MS}$ (Método de hacina) (43.6%). El resto de la dieta lo constituyó grano de cebada y un suplemento. El nitrógeno retenido en los animales fue mayor cuando consumieron la ración constituida por paja de trigo amoniata (3% $\text{NH}_3/\text{kg MS}$) e incluida al 43.6% del total de la ración, la digestibilidad de la MS de la misma ración fue similar a la dieta 1 que estuvo constituida por heno de alfalfa y pasto bromo y ofrecida al 50% del total de la ración.

Durante el ensayo número 2, las mismas cuatro dietas se suministraron a cuatro carneros fistulados del rumen. La concentración promedio de $\text{NH}_3\text{-N}$ ruminal (mg/dl) y de ácidos grasos volátiles totales (mmol/ml) fue menor en los animales que consumieron las raciones que contenían paja amoniata (Ración 3 y 4).

En forma particular se observó una mayor concentración de propionato ($P < 0.01$) en los ovinos que consumieron las dietas que contenían paja de trigo amoniata. El pH ruminal no fue diferente para los animales que consumieron las cuatro dietas.

En el ensayo número 3, se suministraron tres de las dietas anteriores a novillos. El promedio de ganancia de peso diario fue de 1.10, 1.04 y 0.91 kg, ofreciendo heno de

alfalfa + pasto bromo, paja de trigo + NH_3 + agua y paja de trigo + NH_3 (Método de hacina).

Es posible considerar en base a los resultados obtenidos de digestibilidad de la MS y retención de N, que el NH_3 adicionado a la paja de trigo fue absorbido y utilizado por los rumiantes.

Saenger *et al.* (1982), realizaron tres pruebas experimentales para evaluar el valor nutritivo del rastrojo de maíz tratado con amoníaco anhidro (3.2% NH_3 /kg MS) en la alimentación de bovinos productores de carne. Las dietas experimentales fueron: 1) Rastrojo de maíz amoniado + grano de maíz; 2) Rastrojo de maíz testigo + harina de soya; 3) Rastrojo de maíz testigo + urea, y 4) Rastrojo de maíz testigo + grano de maíz. En el ensayo 1, el consumo de MS (kg/día), la digestibilidad de la MS (%) y el nitrógeno retenido (%), fueron mayores en los novillos que consumieron rastrojo de maíz amoniado (2.0% NH_3 /kg MS) + grano de maíz (dieta 1), que cuando consumieron las otras tres dietas (4.09, 3.31, 3.39 y 3.12 kg MS/día; 62.05, 56.62, 57.39 y 55.46%; y 31.24, 18.18, 29.55 y 6.42% para las dietas 1, 2, 3 y 4, respectivamente). En cambio la suplementación proteica en las dietas 2 y 3, no incrementó la digestibilidad de la MS comparada con la dieta 4. Los valores de nitrógeno retenido para los animales alimentados con rastrojo de maíz amoniado + grano de maíz, fueron más altos que en los animales alimentados con las raciones 2, 3 o 4 (31.24, 18.18, 29.55 y 6.42%, respectivamente), considerando que el bajo nitrógeno retenido por los animales que consumieron la dieta 4, es atribuido a un reducido consumo de nitrógeno. En el experimento 2, el consumo de MS (kg/día) de la dieta que contenía rastrojo de maíz amoniado (3.0% NH_3 /kg MS) + grano de sorgo (4.3) fue mayor ($P < 0.05$) que la dieta 2 (4.1), 3 (3.9) y que 4 (3.6). Las ganancias de peso vivo de los novillos alimentados con las

cuatro dietas, no fueron diferentes ($P < 0.10$). Durante la prueba 3, 56 vacas gestantes productoras de carne fueron alimentadas en un período de 70 días, suministrando las 4 dietas descritas anteriormente. El cambio de peso vivo (kg) de las vacas alimentadas con la dieta 1 (Rastrojo de maíz amoniado + grano de sorgo) (+7.6), fue mayor ($P < 0.01$) que cuando las vacas consumieron la dieta 2 (-20.7), 3 (-27.1) o 4 (-44.0). El peso de nacimiento de las crías no fue diferente ($P > 0.10$) por efecto de la dieta consumida (36.56, 36.85, 37.26 y 38.32 kg, respectivamente y para cada una de las cuatro dietas).

Los valores de nitrógeno retenido indicaron que el nitrógeno aportado por la amonificación es utilizado con la misma eficiencia que el nitrógeno proveniente de la harina de soya o de la urea.

Se confirma, que el incremento de la digestibilidad de la MS y un adecuado aporte de PC causado por la amonificación puede favorecer la tasa de remoción del contenido ruminal y consecuentemente el consumo de MS. Si la digestibilidad y el consumo de MS se aumentan, mayor cantidad de energía es disponible para el animal, provocando también mayor ganancia de peso vivo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

El ensayo experimental se llevó a cabo en la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, localizada a 19°20' latitud Norte, 98°53' longitud Oeste y a 2250 msnm. Su tipo de clima C (wo) (w)b (i')g de acuerdo con las modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (García, 1981), se caracteriza como templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual 15.5°C, precipitación media anual 637.2 mm, porcentaje de lluvias invernales menor que el 5% de la anual, verano fresco con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales y presentación del mes más caliente antes de junio.

3.2 Duración

El estudio experimental tuvo una duración total de 129 días, considerando el tratamiento químico alcalino del rastrojo de maíz por el método Noruego (35 días) y la prueba de digestibilidad *in vivo* realizada en dos períodos experimentales. En cada período experimental, la prueba de digestibilidad comprendió una fase preliminar de 22 días en corraleta, 5 días en jaula metabólica para adaptación y 7 días para la fase de recolección. También se aplicó un período de descanso a los animales de 26 días, entre los dos períodos experimentales.

3.3 Manejo zootécnico de los animales experimentales

Se utilizaron 18 borregos (7 Suffolk, 7 Rambouillet, 3 Corriedale y 1 Rambouillet x Corriedale) en dos períodos experimentales, con un peso vivo de 27.13 ± 1.32 kg en el primer período experimental y 32.33 ± 1.07 kg para el segundo.

Previo al inicio del trabajo, los animales fueron desparasitados internamente con un vermífugo de amplio espectro³ y una semana después se les inyectó vitamina A, D y E⁴ por vía intramuscular. Durante el período preliminar de la prueba de digestibilidad *in vivo*, todos los animales se alojaron en corraletas y en grupos de tres por 22 días y 5 días en jaula metabólica individual, con el objetivo de adaptarlos al consumo de las dietas experimentales, a las condiciones particulares de la jaula metabólica y con ello determinar aproximadamente la cantidad de alimento que se ofrecería en el período de recolección.

En el período de recolección, los animales permanecieron en las jaulas metabólicas para cuantificar el alimento rechazado, las heces y orina excretadas y el consumo voluntario del alimento. Antes de subir a cada uno de los borregos a su respectiva jaula metabólica, se le colocó un arnés recolector de heces.

3.4 Amoniación del rastrojo de maíz por el método Noruego

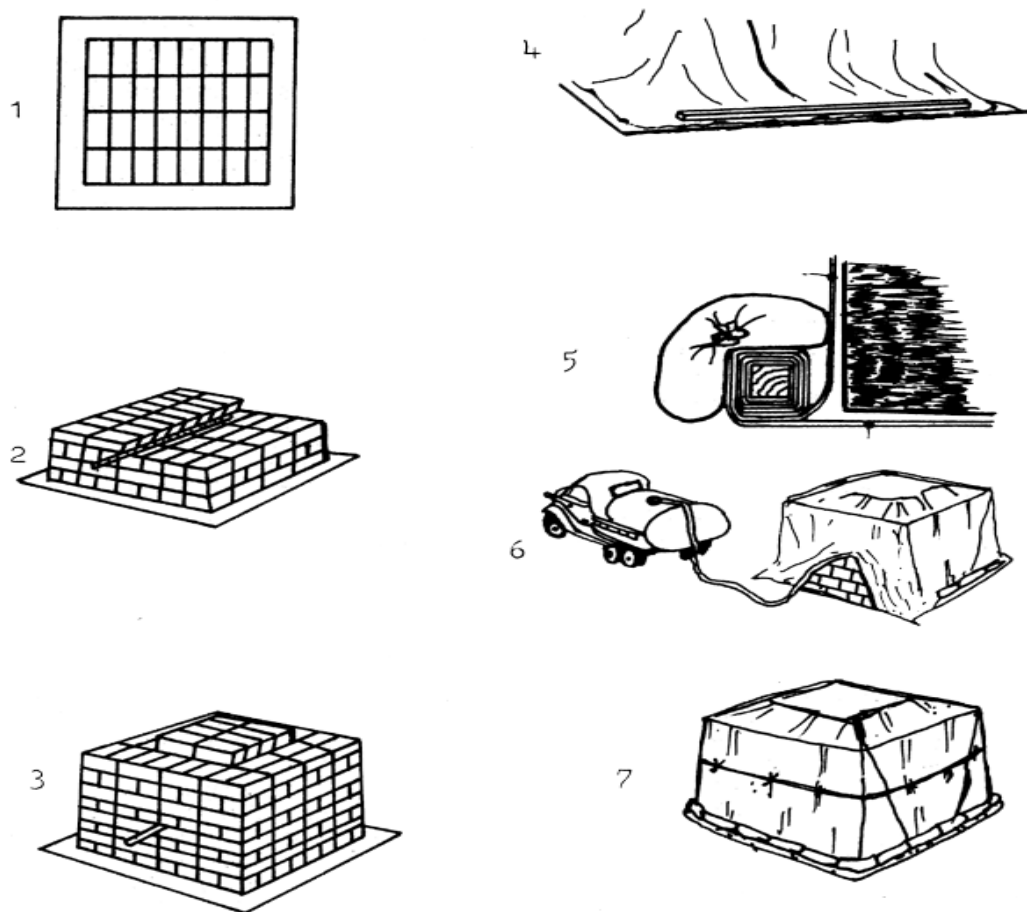
Se trataron químicamente 263 pacas de rastrojo de maíz (2.8% de NH_3 -gas por kg de materia seca) con amoniaco anhidro (NH_3 -gas) por el método Noruego siguiendo la metodología propuesta por Sundstol *et al.* (1978). A continuación se describe e ilustra gráficamente el procedimiento aplicado.

³ Ripercol. (2 ml/20 kg de peso vivo).

⁴ Vitamina SYNT-ADE. Lab. Syntex, S. A. (2 ml/animal).

1. Elegir un lugar con topografía plana y utilizar una sábana de hule grueso en la superficie del suelo.
2. Colocar en forma de hacina la cantidad de pacas de esquilmo agrícola que se trataran químicamente e insertar un tubo en el centro de dicha hacina para aplicar posteriormente el amoniaco anhidro.
3. Terminar la colocación de pacas en forma de hacina dejando en la parte superior menor cantidad de pacas para formar un desnivel que provoque escurrimiento de agua en época de lluvia.
4. Al terminar de cubrir la hacina de pacas con la sábana de hule se debe colocar un pedazo de madera en la superficie del suelo para unir la sábana superior con la inferior.
5. Una vez que se unieron ambas sábanas se colocan algunos costales llenos de tierra para permitir que la hacina de pacas quede herméticamente sellada.
6. Inyectar el amoniaco anhidro necesario y que está contenido en la nodriza en forma lenta y con paciencia.
7. Después de inyectar el amoniaco anhidro es necesario checar perfectamente que no exista alguna fuga de dicho amoniaco y esperar alrededor de 30 días para culminar el tratamiento químico (Figura 2).

Figura 2. Metodología para el tratamiento químico alcalino del rastrojo de maíz por el Método Noruego.



Fuente: Sundstol, *et al.* (1978).

El procedimiento específico que se siguió para realizar la amoniacación de rastrojo de maíz con amoníaco anhidro (NH_3 -gas) en este estudio consistió en:

1. Se eligió un terreno no inundable, en una parte alta y lejos de cobertizos u otros edificios.

2. Las pacas de rastrojo de maíz fueron colocadas en una hacina y sobre terreno firme.

La colocación de las pacas fue realizada en capas alternas y en ángulo recto entre sí para obtener mejor trabazón de la hacina, colocando en la cima de ésta y al centro seis pacas para hacer un techo de cuatro aguas.

3. Con el fin de cubrir y sellar herméticamente la hacina se utilizó una sábana de hule butilo de 22 X 10 m, la cual se enterró por tres de sus lados en una canaleta (20 cm de ancho X 30 cm de profundidad) que previamente se construyó al pie de la hacina. El lado que no fue sellado se utilizó para inyectar a través de un tanque aplicador (Nodriz), el NH_3 -gas necesario para tratar el forraje en una proporción de 2.8% por cada kg de materia seca. Una vez logrado lo anterior, el tanque aplicador fue retirado y el cuarto lado de la hacina se cerró herméticamente. El contenido de agua del rastrojo de maíz se determinó únicamente para calcular la cantidad de NH_3 -gas necesario en el tratamiento, pues se consideró que no era necesario agregar agua.
4. Se dio un tiempo de 30 días para que se llevara a cabo la reacción entre la sustancia alcalina y el material vegetal. Después de 30 días, la hacina se destapó y dejó ventilar el rastrojo amoniado por 4 días con la finalidad de que el exceso de NH_3 -gas desapareciera antes de suministrarse a los animales.
5. El rastrojo de maíz amoniado, presentó un color gris oscuro, estructura más blanda y un olor característico del amoníaco. Este olor característico a amoníaco se conservó aún después de la aireación del rastrojo.

3.5 Tratamientos experimentales

Se evaluaron seis tratamientos experimentales, los cuales resultaron de la utilización estadística de un diseño experimental bloques al azar generalizado con arreglo factorial 3 x 2. En forma general los tratamientos se ofrecieron en 70% de rastrojo de maíz y un 30% de suplemento. Dichos tratamientos experimentales se caracterizaron con base en la combinación de tres formas físicas del rastrojo de maíz (Factor A) y dos tipos de tratamiento químico alcalino (Factor B). Cuadro 7.

Cuadro 7. Caracterización de los tratamientos experimentales basada en tres formas físicas de rastrojo de maíz (*Zea mays*, L.) y dos tipos de tratamiento químico alcalino con amoníaco anhidro (NH_3 -gas).

Tratamientos	Caracterización				
	Procesamiento físico. Forma física. Factor A.			Tratamiento químico alcalino. Factor B.	
	RM1	RM2	RM3	0	2.8% NH_3 -gas
Testigo	✓			✓	
T1		✓		✓	
T2			✓	✓	
T3	✓				✓
T4		✓			✓
T5			✓		✓

Dónde: RM1=Rastrojo de maíz con tamaño de partícula de 12-15 cm; RM2=Rastrojo de maíz molido con criba de 1.3 cm de diámetro, RM3=Rastrojo de maíz molido con criba de 0.83 cm de diámetro.

El procesamiento físico del rastrojo de maíz consistió en obtener tres formas físicas caracterizadas como: rastrojo empacado comercialmente y en trozos de 12-15 cm de longitud (RM1); rastrojo molido en molino de martillos con criba de 1.3 cm. de diámetro (RM2) y rastrojo molido en molino de martillos con criba de 0.85 cm de diámetro (RM3). Dicho procesamiento físico se aplicó tanto al rastrojo de maíz no tratado químicamente con amoníaco anhidro como al rastrojo de maíz si tratado o amoniado.

El rastrojo de maíz caracterizado como amoniado, fue el rastrojo de maíz que se trató químicamente con amoníaco anhidro (NH_3 -gas) a razón de 2.8% por kg de materia seca (2.8 g NH_3 -gas/100g MS).

El suplemento que se formuló y elaboró utilizando grano de sorgo, pasta de soya y minerales con rastrojo de maíz amoniado, se denominó Suplemento A y cuando se utilizó rastrojo de maíz no tratado químicamente, grano de sorgo, pasta de soya, minerales y urea se identificó como Suplemento B. (Cuadro 8).

Cuadro 8. Composición química de los suplementos A y B.

Ingrediente	Suplemento A			Suplemento B		
	Porcen- taje	PC %	EM Mcal/kg	Porcen- taje	PC %	EM Mcal/kg
Sorgo (10.1% PC) (4-20-893) ¹	78.00	7.88	2.37	74.27	7.50	2.26
Soya (47.7% PC) (5-04-600)	13.67	6.52	0.42	13.73	6.55	0.42
Urea (46% N)	--	--	--	3.67	10.5	--
Minerales ²	8.33	--	--	8.33	--	--
T o t a l	100.0	144	2.79	100.0	24.6	2.68

¹Número de referencia (NRC, 1984).²Rumisal (Lab. Goffler). Contenido por Kg: 130 g Ca, 50 g P, 109 g Na, 200 g Cl, 4.3 g Fe, 3.0 g S, 3.3 g Mg, 200 mg Mn, 80 mg Cu, 66.6 mg Co, 4 mg I y 80 mg Zn.

La finalidad de incluir urea en el suplemento B que se utilizó con el rastrojo de maíz no tratado químicamente, fue el de proporcionar una cantidad de nitrógeno no-proteínico similar a la contenida en el rastrojo de maíz amoniado y con ello permitir que las dietas fueran isoproteicas. Cuadro 9.

Cuadro 9. Composición¹ estimada de las dietas ofrecidas a los borregos.

Ingrediente	Rastrojo normal			Rastrojo amoniado ²		
	Porcen- taje	PC %	EM Mcal/kg	Porcen- taje	PC %	EM Mcal/kg
Rastrojo de maíz (6.6%PC)	70.00	4.62	1.3	70.00	7.70	1.27
Sorgo (10.1% PC)	22.28	2.250	0.67	23.40	2.36	0.71
Soya (47.7% PC)	4.12	1.97	0.13	4.10	1.95	0.12
Urea (46% N)	1.10	3.16	-	-	-	-
Minerales ³	2.5	-	-	2.5	-	-
T o t a l	100.00	12.0	2.10	100.00	12.0	2.1

¹Expresada en base seca.²Para el rastrojo amoniado se estimó el contenido de PC en 11%.³Rumisal (Lab. Goffler).

Durante el intervalo de descanso entre periodos experimentales, los animales recibieron la dieta que consumía el rebaño en la granja institucional de la Universidad Autónoma Chapingo, la cual consistió de rastrojo de maíz, ensilado de maíz, alfalfa henificada y un concentrado formulado para cumplir los requerimientos nutritivos de los borregos (NRC, 1975).

3.6 Variables de respuesta

Las variables de respuesta estudiadas fueron:

1. Composición química del rastrojo de maíz no tratado químicamente y amoniado.
Las determinaciones realizadas fueron materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina (Lig).
2. La digestibilidad aparente de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), nitrógeno (N), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y Lignina (Lig).
3. El consumo voluntario de alimento y nutrientes digestibles.
4. El balance de nitrógeno.
5. Cambios de peso durante los periodos experimentales.
6. La concentración de nitrógeno amoniacal (N-NH_3).
7. El pH del líquido ruminal.
8. La concentración de nitrógeno ureico en plasma (N-UREA).

3.7 Determinaciones y métodos analíticos

El período preliminar o de adaptación se dividió en dos fases. En la primera fase, los animales fueron alojados en corraletas y en grupos de 3 por 22 días. Al iniciar la segunda fase, cada animal equipado previamente con un arnés recolector de heces fue subido a una jaula metabólica, en la cual permaneció durante 5 días. Se pesó el alimento ofrecido y rechazado para determinar por diferencia, el consumo y con ello ofrecer 20% más de éste al día siguiente.

Al efectuarse la prueba de digestibilidad *in vivo* y balance de nitrógeno (BN), las determinaciones se realizaron bajo la rutina de trabajo descrita por Harris (1970). Para determinar la digestibilidad y el BN, se cuantificó el consumo de alimento y la cantidad total de heces y orina excretadas por animal durante el periodo de recolección. El consumo de las raciones experimentales se midió por diferencia, entre la cantidad ofrecida de la ración y rechazada, tomándose muestras perfectamente bien identificadas de aproximadamente 200 g en cada uno de dichas cantidades y con ello formar una muestra compuesta para su posterior análisis químico en el laboratorio. La recolección total de heces por animal se realizó dos veces por día (7:00 y 18:00 h.), pesándolas y guardándolas en bolsas de polietileno bien identificadas en el interior de una cámara fría (4°C). Una vez finalizada la fase de recolección se determinó la materia seca parcial de las heces excretas por animal y se tomó una muestra compuesta por animal de aproximadamente 1 kg volviéndose a guardar. La cuantificación del total de orina excretada/animal/día, se hizo en dos mediciones por día (7:00 y 18:00 h.) utilizando una probeta graduada de plástico. La orina excretada se recolectó en recipiente de vidrio (3.5 litros), que contenían 5 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado con el objetivo de reducir pérdidas de amoníaco y unas gotas de tolueno para prevenir contaminación. Del total de orina excretada/animal/día, se tomó una alícuota de 100 ml que se depositó en frascos de vidrio (1 litro) y almacenó dentro de la cámara fría (4°C) para su posterior análisis. La orina recolectada en el frasco de vidrio con capacidad de 1 litro se consideró como una muestra compuesta/animal. Una vez concluida la prueba de digestibilidad *in vivo*, las muestras recolectadas en cada uno de las cantidades ofrecidas y rechazadas fueron submuestreadas para formar muestras compuestas por animal, moliéndose en un molino Willey con malla de 1 mm.

Al efectuarse el tratamiento químico del rastrojo de maíz, se tomaron 10 muestras representativas de aproximadamente 200 g de rastrojo maíz no tratado químicamente y posteriormente otras 10 del rastrojo amoniato para análisis químico en el laboratorio.

Al terminar el periodo de recolección y durante la mañana con ayuno previo de los animales, se tomó una muestra de líquido ruminal por animal (100 ml), a través de una sonda esofágica conectada a una bomba de vacío la cual fue filtrada inmediatamente con una manta de cielo. Del líquido ruminal filtrado se tomó una submuestra de 50 ml, la cual fue acidificada con 2.5 ml de HCl concentrado y almacenada en cámara fría.

Adicionalmente se obtuvo una muestra de sangre de cada uno de los animal con ayuno previo de 12 horas mediante punción de la vena yugular, utilizando una jeringa de plástico desechable (10 ml) y depositando dichas muestras de sangre en tubo vacutainer heparinizado.

El contenido de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína cruda (PC) de los alimentos y heces, así como el nitrógeno (N) en orina fue determinado en base a la técnica descrita por el AOAC (1975). Las fracciones fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y Lignina (Lig), fueron determinadas mediante el procedimiento de Van Soest (1963) y Van Soest y Wine (1967). La concentración de nitrógeno amoniacal en líquido ruminal se cuantificó por el método Micro Kjeldahl (AOAC, 1975) y la de nitrógeno ureico (N-Urea) en plasma sanguíneo por espectrofotometría (Preston y Osmond, 1971). Los cambios de peso vivo se estimaron por diferencia entre el peso inicial y peso final para cada periodo experimental de 34 días.

3.8 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental bloques al azar generalizado con arreglo factorial de tratamientos 3 x 2. Los periodos experimentales fueron considerados como bloques y por ello, cada tratamiento consistió de seis observaciones.

Mediante el arreglo factorial de tratamientos se evaluaron los efectos principales del factor A (Tres formas físicas de rastrojo de maíz; RM1, RM2 y RM3), del factor B (Nivel de amoniación del rastrojo de maíz; 0 vs 2.8 g NH₃-gas/100 g MS) y la interacción A x B.

3.9 Procedimiento de análisis estadístico

Los resultados se analizaron por análisis de varianza para un diseño de bloques al azar generalizado con arreglo factorial de tratamientos 3 x 2. (Snedecor y Cochran, 1967) y la diferencia de medias a través de la prueba de medias Scheffe (Steel y Torrie, 1960). Estos análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS (SAS, 1982).

Para realizar el análisis de varianza correspondiente, se utilizó el modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = M + \beta_i + A_j + B_k + (AB)_{jk} + E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} =Cada una de las variables de respuesta.

M =Media general.

β_i =Efecto del i -ésimo bloque ($i=1,2$).

A_j =Efecto del j -ésimo nivel en la forma física del factor A ($j=1,2,3$).

B_k =Efecto del k -ésimo nivel de amoniación del factor B ($k= 1,2$).

$(AB)_{jk}$ =Efecto de la interacción de los factores A y B a los niveles j, k .

E_{ijk} =Error aleatorio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Composición química del rastrojo de maíz

Los contenidos de materia seca y materia orgánica del rastrojo de maíz no fueron afectados ($P>0.05$) por la amonificación. Cuadro 10.

Cuadro 10. Composición química¹ del rastrojo de maíz.

Componentes químicos	Nivel de amonificación (g NH ₃ -gas/100g MS)	
	0	2.8
Materia seca	93.7 ^a	83.5a
Materia orgánica	91.4 ^a	91.1a
Proteína cruda	6.0a	12.6b
Fibra detergente neutro	65.1 ^a	60.8
Fibra detergente ácido	43.2 ^a	39.5b
Lignina	6.4 ^a	5.9a

^{a,b}Medias con distinta letra dentro de hileras, son diferentes significativamente ($P<0.05$).

¹Datos expresados en base seca. Laboratorio de la sección de Nutrición. Depto. de Zootecnia. UACH. Chapingo, México.

Sin embargo, el contenido de proteína cruda se incrementó ($P<0.05$) en 110% y los contenidos de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido disminuyeron ($P<0.05$) con la amonificación. El contenido de lignina no fue afectado ($P>0.05$), pero tendió a disminuir.

El incremento de 6.6 unidades porcentuales en el contenido de proteína es muy parecido al valor de 5.9 que en promedio se puede derivar de los resultados obtenidos por diversos autores (Oji y Mowat, 1979; Paterson *et al.*, 1981; Nelson *et al.*, 1984; Jiménez y Shimada, 1984; y Martínez *et al.*, 1984). Esta es una de las grandes ventajas de la amonificación, puesto que disminuye la necesidad de proteína suplementaria.

En relación a los componentes de las paredes celulares, la disminución, por efecto de la amonificación, de 4.3 y 0.5 unidades porcentuales en FDA y lignina, respectivamente, es similar a los valores de 5.1 y 0.7, derivados a partir de los resultados de Oji y Mowat (1979), Paterson *et al.* (1981), Nelson *et al.* (1984), Jiménez y Shimada (1984) y Martínez

et al. (1984). La amoniación probablemente causó el rompimiento de los enlaces de lignina con hemicelulosa, provocando la solubilización de la fracción hidrolizada, de tal manera que no se cuantifican en las determinaciones.

Como resultado de la amoniación la FDA disminuyó en 3.7 unidades porcentuales, mientras que en los trabajos reportados por Paterson *et al.* (1981), Herrera-Saldaña *et al.* (1982), Males y Gaskins (1982), Jiménez y Shimada (1984), Martínez *et al.* (1984) y Nelson *et al.* (1985a,b), el contenido de FDA se incrementa en 0.38 unidades porcentuales por unidad de NH_3 -gas aplicado. Es probable que lo anterior se debe a que los enlaces lignina-celulosa son menos comunes y susceptibles a la hidrólisis alcalina.

4.2 Digestibilidad *in vivo*

No se encontró interacción entre procesamiento físico y amoniación del rastrojo de maíz ($P>0.4$) sobre la digestibilidad aparente de alguno de los componentes químicos evaluados en las dietas experimentales. Por ello, únicamente se presentan los resultados de efectos principales en la digestibilidad (Cuadro 11).

Cuadro 11. Efectos principales del procesamiento físico y de la amoniación (2.8g NH_3 -gas/100g MS) del rastrojo de maíz, sobre la digestibilidad aparente de los componentes químicos de la ración en la alimentación de ovinos.

Componentes químicos	Procesamiento físico ¹			Amoniación ²	
	RM1	RM2	RM3	0	2.8
Materia seca	63.5a	62.6a	61.8a	58.6A	66.8B
Materia orgánica	65.3a	64.4a	64.6a	60.8A	68.7B
Proteína cruda	61.6a	61.8a	60.5a	63.4A	59.2B
Fibra detergente neutro	52.0a	49.1a	45.5a	45.1A	52.7B
Fibra detergente ácido	46.8a	41.9ab	35.9b	37.1A	46.0B
Lignina	42.6a	34.5ab	28.8b	31.0A	39.6A

¹Valores de las medias con diferente letra minúscula y dentro de hileras para el efecto principal de procesamiento físico, son diferentes ($P<0.05$).

²Valores de las medias con diferente letra mayúscula y dentro de hileras para el efecto principal de amoniación, son diferentes ($P<0.05$).

Las digestibilidades aparentes de la materia seca, materia orgánica, proteína cruda y fibra detergente neutro no fueron afectadas ($P>0.10$) por la disminución del tamaño de partícula en el rastrojo de maíz. En cambio, las digestibilidades aparentes de la fibra detergente ácido y lignina sí cambiaron ($P<0.04$), manifestándose una mayor digestibilidad ($P<0.05$) para el rastrojo empacado en trozos de 10-15 cm (RM1) con relación al rastrojo molido con malla de 0.8 cm (RM3).

Los resultados anteriores soportan los trabajos realizados por diferentes autores en los cuales se afirma que la disminución del tamaño de partícula del rastrojo de maíz reduce la digestibilidad de los componentes químicos, pues se disminuyó la retención de las partículas de alimento en el rumen (Pigden y Bender, 1971; Waiman y Blaxter, 1972; y Hunt *et al.* (1984). Este efecto de la disminución del tamaño de partícula afecta en mayor grado a los componentes fibrosos de la dieta, dado que requieren de mayor tiempo para su digestión ruminal. Por otro lado, Beever *et al.* (1972) y Kiflewahid (1983), han publicado que el efecto de moler las pajas sobre la digestibilidad ha sido muy variable e inconsistente. Una de las razones probables de esta variabilidad puede relacionarse con diferencias en el consumo de alimento. En este experimento, el consumo de alimento no se afectó, especialmente con el menor tamaño de partícula, por ello, es probable que no se afectara significativamente la digestibilidad de la materia seca, materia orgánica, proteína cruda y FDN. Además, normalmente se considera que las hojas son de mejor calidad que los tallos, y que cuando el tamaño de partícula se disminuye, se limita la selectividad del animal, quién se ve obligado a consumir más tallos. Sin embargo, existen reportes para el caso de rastrojo de maíz en donde se ha encontrado que los tallos son más digestibles que las hojas.

La amoniación del rastrojo de maíz incrementó ($P<0.03$) las digestibilidades de la materia seca, materia orgánica, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y lignina. Sin embargo, deprimió la digestibilidad de la proteína cruda.

El incremento en la digestibilidad de los rastrojos tratados químicamente se debe a que los álcalis saponifican los enlaces éster que se encuentran entre la lignina y los carbohidratos estructurales causando a su vez hinchamiento por contacto con el agua. Lo anterior permite que una mayor cantidad de enzimas celulolíticas actúen sobre el sustrato, mejorando el porcentaje de digestión (Feist *et al.*, 1971; y Llamas, 1984).

Los resultados obtenidos para la digestibilidad de la proteína cruda están de acuerdo con los reportados por Garret *et al.* (1979) pues también encontraron que la digestibilidad del nitrógeno fue más baja ($P<0.05$) cuando los animales consumieron paja amoniataada al nivel de 72% del total de la ración. Similarmente, Jackson *et al.* (1972) y Oji *et al.* (1977), observaron reducciones en la digestibilidad de la proteína por efecto de la amoniación. Sin embargo, los resultados no coinciden con los reportados por Horton (1978), Horton y Steacy (1979) y Herrera-Saldaña *et al.* (1982), pues dichos investigadores encontraron que la digestibilidad de la proteína se incrementó por el efecto de amoniatar pajas de cereales. Huerta (1995), presentó un resumen de la literatura publicada acerca de la digestibilidad de la proteína cruda en forrajes tratados con NaOH o NH_3 y en ambos casos ésta se deprime con relación a los forrajes no tratados con álcali (10.5 y 1.4%, respectivamente), pero en menor grado que la encontrada en este experimento (7%). Posiblemente la alcalinidad de la dieta altera el metabolismo del nitrógeno a nivel ruminal y del animal.

Se puede destacar que el incremento en la digestibilidad aparente de la materia seca por el efecto de la amoniación fue de aproximadamente un 14%, que es inferior a los

resultados obtenidos por Paterson *et al.* (1981) en los cuales se reportan incrementos de hasta 25%. En este sentido, Huerta (1995) reporta un incremento de la digestibilidad *in vivo* del 10% en 24 reportes analizados.

Los incrementos en las digestibilidades de la FDN y FDA obtenidos en el presente trabajo (24 y 28%, respectivamente) son superiores a los reportados por Huerta (1995) de 16.5 y 11.7%, respectivamente. Normalmente se considera que la digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN) es mejorada en mayor grado que la de la fibra detergente ácido (FDA), por la mayor asociación de hemicelulosa con lignina y mayor susceptibilidad a la hidrólisis alcalina. Sin embargo, en éste trabajo sucedió lo contrario, debido posiblemente a que el tratamiento con amoníaco afectó a la FDN en mayor grado que lo reportado en otros estudios.

4.3 Consumo voluntario de nutrientes digestibles

No existió interacción ($P>0.3$) entre el procesamiento físico y amoníación del rastrojo en el consumo de nutrientes digestibles, y por lo tanto, los efectos principales de dichos factores se separaron (Cuadro 12).

Cuadro 12. Efectos principales de la disminución del tamaño de partícula y de la amoníación (g NH_3 -gas/100g MS) del rastrojo de maíz sobre el consumo de nutrientes digestibles en ovinos (g/animal/día).

Componentes digestibles	Procesamiento físico ¹			Amoníación ²	
	RM1	RM2	RM3	0	2.8
Materia seca	557.6a	610.9a	500.0a	497.6A	614.7B
Materia orgánica	519.7a	572.6a	471.7a	468.4A	574.5B
Proteína cruda	56.2b	73.7a	71.5ab	75.1A	59.2B
Fibra detergente neutro	228.5a	236.3a	175.2a	195.6A	231.0A
Fibra detergente ácido	133.5a	128.4ab	86.0b	104.2A	127.8A

¹Valores de las medias con diferente letra minúscula y dentro de hileras para el efecto principal de procesamiento físico, son diferentes ($P<0.05$).

²Valores de las medias con diferente letra mayúscula y dentro de hileras para el efecto principal de amoníación, son diferentes ($P<0.05$).

El procesamiento físico del rastrojo de maíz, no cambió ($P > 0.1$) las variables de respuesta del consumo de materia seca digestible, materia orgánica digestible, y fibra detergente neutro digestible.

Los resultados anteriores no soportan la información obtenida por la mayoría de los investigadores que han evaluado el procesamiento físico de los esquilmos agrícolas, pues en general se ha confirmado que el consumo de nutrientes digestibles es mayor a medida que el tamaño de partículas del material vegetal se reduce (Milne y Campling (1972); Stuart (1977); Jackson (1977); Horton y Steacy (1979) y Fernández (1981)).

Por otro lado, el efecto principal de la disminución del tamaño de partícula del rastrojo de maíz sobre el consumo de materia seca digestible y materia orgánica digestible fue alterado ($P < 0.003$) cuando se expresó con base al peso metabólico (Cuadro 12). Los animales que recibieron el rastrojo de maíz molido con malla de 1.3 cm (RM2) y 0.8 cm (RM3) consumieron más que aquellos que lo recibieron en trozos de 10-15 cm. (RM1). (Cuadro 12). Estos resultados coinciden con los publicados por Romero (1975).

El efecto principal del procesamiento físico del rastrojo de maíz fue significativo ($P < 0.05$) sobre los consumos de fibra detergente ácido digestible. El consumo de FDA digestible fue mayor ($P < 0.05$) con rastrojo de maíz de 10 a 15 cm (RM1) en relación al que se obtuvo con el molido utilizando malla de 0.8 cm. (RM3).

El consumo de proteína cruda digestible (g/día o $\text{g/kg PV}^{.75}$) también se afectó ($P < 0.05$) debido al procesamiento físico del rastrojo de maíz. El menor consumo se presentó cuando el rastrojo de maíz fue ofrecido con un tamaño de 10-15 cm, (Cuadros 12 y Cuadro 13).

Cuadro 13. Efectos principales de la disminución del tamaño de partícula y de la amonificación (g NH₃-gas/100g MS) del rastrojo de maíz sobre el consumo de nutrientes digestibles en ovinos (g/kg PV^{0.75}).

	Procesamiento físico ¹			Amonificación ²	
	RM1	RM2	RM3	0	2.8
Materia seca, g/kg PV ^{.75}	30.8a	38.4b	37.6b	33.0A	38.2B
Materia orgánica, g/kg PV ^{.75}	29.2a	36.3b	35.3b	31.1A	36.1B
Proteína cruda, g/kg PV ^{.75}	4.2a	5.6b	5.5b	5.7A	4.4B

¹Valores de las medias con diferente letra minúscula y dentro de hileras para el efecto principal de procesamiento físico, son diferentes (P< 0.05).

²Valores de las medias con diferente letra mayúscula y dentro de hileras para el efecto principal de amonificación, son diferentes (P<0.05).

Estos resultados coinciden con los reportados por varios investigadores que han evaluado el efecto del procesamiento físico de los rastrojos, pues han llegado a la conclusión de que el consumo de nutrientes digestibles es grande debido a un mayor consumo de alimento (Romero (1975), Fernández (1981) y Kiplewahid (1983).

En el Cuadro 14 se puede observar que los consumos de materia seca total de la ración (g/día) tampoco fueron diferentes (P>0.05) por efecto de la disminución del tamaño de partícula del rastrojo de maíz. Resultados similares se obtuvieron con relación al consumo de materia seca del rastrojo de maíz y materia seca del suplemento. Estos resultados coinciden con los observados por Romero (1975), pues reporta que cuando los borregos consumieron rastrojo de maíz picado o molido, los consumos de materia seca total por día (g MS/kg PV^{0.75}) fueron de 60 para el picado y 52 en el molido.

Cuadro 14. Efectos principales de la disminución del tamaño de partícula y de la amonificación (2.8g NH₃-gas/100g MS) del rastrojo de maíz sobre el consumo de materia seca total y de la materia seca del rastrojo y suplemento en la alimentación de ovinos.

	Procesamiento físico ¹			Amonificación ²	
	RM1	RM2	RM3	0	2.8
Consumo total					
g/día	877.8a	972.5a	807.3a	848.3A	923.3A
g/ kg PV ^{0.75}	64.9a	71.7a	62.3a	63.9A	68.7A
Consumo de rastrojo, g/día	46.5a	50.9a	44.3a	45.7A	48.7A
Consumo de suplemento, g/kg PV ^{0.75}	18.4a	20.8a	18.0a	18.2A	19.9A

¹Valores de las medias con diferente letra minúscula y dentro de hileras para el efecto principal de procesamiento físico, son diferentes (P< 0.05).

²Valores de las medias con diferente letra mayúscula y dentro de hileras para el efecto principal de amonificación, son diferentes (P<0.05).

Se ha considerado que al utilizar el rastrojo de maíz en la alimentación animal, el hecho de disminuir el tamaño de partícula incrementa el consumo de nutrientes totales y la producción animal, puesto que se reduce considerablemente el tiempo que emplea el animal para consumir y rumiar dicho forraje, aun considerando que la menor retención y consecuentemente la mayor velocidad de vaciado del tracto gastrointestinal disminuye la digestibilidad, principalmente de los componentes de la pared celular (Fernández, 1981).

La amonificación del rastrojo de maíz aumentó ($P < 0.003$) los consumos (g/día) de materia seca digestible, materia orgánica digestible, pero disminuyó el consumo de proteína cruda digestible, destacando que aun cuando se expresó en función del peso metabólico se observó el mismo efecto (Cuadro 11 y Cuadro 12).

Estos incrementos en el consumo de nutrientes por efecto de la amonificación de las pajas de cereales también han sido reportados por Horton y Steacy (1979) y Herrera-Saldaña *et al.* (1982).

Los resultados referidos al consumo de proteína cruda digestible pueden ser debidos a que la digestibilidad aparente de la proteína cruda también se disminuyó por el efecto de la amonificación del rastrojo de maíz. Al respecto, Herrera-Saldaña *et al.* (1982) han observado que el consumo de proteína cruda de la paja de trigo mejoró ($P < 0.01$) al ser amoniada.

Los consumos de FDN y FDA digestibles no se modificaron ($P > 0.09$) por el efecto de amonificación del rastrojo de maíz. Estos resultados difieren de aquellos que ha publicado Llamas (1984), pues menciona que debido a que el tratamiento alcalino rompe los enlaces álcali-lábiles entre la hemicelulosa y lignina se aumentó consecuentemente la

disponibilidad de las fracciones de la fibra. Aun cuando en este trabajo se incrementó la digestibilidad de las fracciones fibrosas, el consumo no aumentó de manera importante. Los consumos de materia seca total (g/día o g/kg $PV^{0.75}$), materia seca del rastrojo (g/kg $PV^{0.75}$) y materia seca del suplemento (g/kg $PV^{0.75}$) no fueron afectados por la amonificación del rastrojo de maíz. Al respecto, Horton y Steacy (1979) han reportado que el consumo de materia seca del rastrojo, de la materia seca total y de la materia seca digestible fueron mayores ($P<0.01$) debido al tratamiento amoniacal de diferentes rastrojos de cereales, aunque dichas respuestas variaron bastante, pues es sabido que los diferentes rastrojos de cereales no responden igual al tratamiento amoniacal en términos del incremento en contenido de proteína cruda, consumo y digestibilidad de la materia seca. En seis pruebas comparativas revisadas por Huerta (1995), el consumo de alimento por ovinos que recibieron forrajes tratados con amoníaco se deprime en 4%. Uno de los problemas del tratamiento con NH_3 es que el amoníaco residual es un agente tensionante para los animales y puede provocar depresión del consumo de alimento.

4.4 Balance de nitrógeno y porcentaje de nitrógeno absorbido que fue retenido

No hubo interacción ($P>0.6$) entre el procesamiento físico y amonificación del rastrojo de maíz sobre el nitrógeno retenido (g/animal/día) ni sobre el porcentaje de nitrógeno absorbido que fue retenido.

La disminución del tamaño de partícula y la amonificación del rastrojo de maíz no modificaron ($P>0.07$) la cantidad de nitrógeno retenido ni el porcentaje del nitrógeno absorbido que fue retenido (Cuadro 15).

Cuadro 15. Efectos principales del procesamiento físico y de la amonificación (2.8g NH₃-gas/100g MS) del trabajo de maíz, sobre el balance de nitrógeno, las concentraciones de N-NH₃ y N-UREA, el pH y el cambio de peso vivo en ovinos.

Variable	Procesamiento físico ¹			Amonificación ²	
	RM1	RM2	RM3	0	2.8
Nitrógeno retenido (g/animal/día)	4.8a	7.0a	5.0a	5.5A	5.8A
Porcentaje del nitrógeno absorbido que fue retenido (%)	36.9a	48.0a	41.0a	39.5A	44.4A
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₃) (mg/100 ml)	8.7a	10.1a	10.6a	10.3A	9.2A
Nitrógeno ureico (N-UREA) (mg/100 ml)	9.2a	8.7a	6.8a	9.8A	6.7B
pH del líquido ruminal	7.2a	7.2a	7.2a	7.1B	7.3A
Cambio diario de peso (g/animal/día)	75.1ab	96.2a	52.0b	63.6A	85.3A

¹Valores de las medias con diferente letra minúscula y dentro de hileras para el efecto principal de procesamiento físico, son diferentes (P<0.05).

²Valores de las medias con diferente letra mayúscula y dentro de hileras para el efecto principal de amonificación, son diferentes (P<0.05).

Los resultados obtenidos sobre el nitrógeno retenido en el presente estudio de balance de nitrógeno soportan los publicados por Oji y Mowat (1979), pues afirman que la cantidad de nitrógeno retenido por corderos que reciben forrajes amoniatados no se modificó.

Nelson *et al.* (1984), han publicado también que el nitrógeno retenido en ovinos que consumieron olote de maíz amoniatado con niveles de 1.0, 1.5 y 2.0 % de NH₃-gas/kg MS y con suplementación proteica, no cambió por el efecto del nivel de amonificación.

Saenger *et al.* (1982) y Males y Gaskins (1982) por el contrario han encontrado que la retención de nitrógeno fue mayor cuando novillos y ovinos fueron alimentados con rastrojo de maíz y paja de trigo amoniatados, respectivamente.

Con referencia a los resultados obtenidos en el presente estudio, es posible suponer que la cantidad de nitrógeno retenido no se modificó debido a que el nitrógeno aportado por la amonificación fue poco disponible.

4.5 Cambio de peso

El cambio de peso no fue afectado (P>0.3) por la interacción entre el procesamiento físico y la amonificación del rastrojo de maíz.

La disminución del tamaño de partícula del rastrojo de maíz afectó ($P<0.01$) el cambio de peso de los animales durante el periodo experimental (Cuadro 15). El cambio de peso fue superior ($P<0.05$) en los animales alimentados con rastrojo de maíz molido con malla de 1.3 cm (RM2) en relación a los alimentados con rastrojo molido con malla de 0.8 cm (RM3) y a los alimentados con rastrojo de maíz con tamaño de partícula de 10-15 cm de largo (RM1). Los borregos que recibieron el rastrojo de maíz con malla de 0.8 cm de (RM3) presentaron un cambio de peso inferior ($P<0.05$) a los animales que recibieron RM1 y RM2.

Kiflewahid (1983) también observó que uno de los efectos de moler las pajas sobre el valor nutritivo y comparado con la forma física original, es precisamente el incremento del consumo voluntario y las ganancias de peso. Resultados similares también han sido reportados por Romero (1975), Fernández (1981) y Estrada *et al.* (1985); citado por Magaña (1998)) al evaluar el rastrojo de maíz procesado físicamente, encontrando que el efecto de la disminución del tamaño de partícula sobre el comportamiento productivo animal es mayor a medida que se ofrece mayor cantidad de dicho forraje, pues se aumenta considerablemente el consumo voluntario.

La amonización del rastrojo de maíz no modificó el cambio de peso ($P>0.07$), aunque es posible observar que los borregos alimentados con rastrojo de maíz amoniado tendieron a mejorar su peso (Cuadro 15).

Estos resultados están de acuerdo con los encontrados por Jiménez y Shimada (1984), pues reportan que la alimentación de borregos con rastrojo de maíz amoniado (3.5% NH_3 - gas/kg MS) y ofrecido en 50% de la ración total no produjo ganancias diarias de peso superiores a las obtenidas con aquellos animales que consumieron rastrojo de maíz no amoniado (165 vs. 176 g/animal/día, respectivamente).

4.6 Concentración de nitrógeno amoniacal en rumen y nitrógeno ureico en plasma

No se encontró interacción entre el procesamiento físico y la amoniacación del rastrojo de maíz ($P>0.2$) en relación a la concentración de nitrógeno amoniacal en líquido ruminal o la concentración de nitrógeno ureico (N-UREA) en plasma sanguíneo (Cuadro 15).

Al evaluar el efecto principal de disminución del tamaño de partícula del rastrojo de maíz se observó que la concentración de $N-NH_3$ en líquido ruminal y de N-UREA en plasma sanguínea no se modificaron ($P=0.1$). La amoniacación del rastrojo de maíz tampoco afectó ($P>0.1$) la cantidad de $N-NH_3$ presente en el líquido ruminal.

La cantidad de $N-NH_3$ en líquido ruminal promedio fue de 9.8 mg/100 ml y no fue diferente ($P>0.05$) debido al efecto del procesamiento físico del rastrojo de maíz (RM1, RM2 y RM3) que consumieron los borregos. Considerando el momento de muestreo y además que se sugiere tener un mínimo de 5 mg $N-NH_3$ /100 ml de líquido ruminal para máxima actividad microbiana, los niveles de $N-NH_3$ no fueron limitantes. Concentraciones diferentes de $N-NH_3$ en líquido ruminal han sido reportados por Herrera-Saldaña *et al.* (1982) los cuales indican que la cantidad de $N-NH_3$ en líquido ruminal de animales alimentados con paja amoniata fue superior ($P<0.05$) que en los animales que consumieron paja sin amoniar. No obstante Males y Gaskins (1982), encontraron que la concentración de $N-NH_3$ ruminal (mg/dl) fue menor (5.3 mg/dl) en los borregos que consumieron paja de trigo amoniata y comparada con la dieta que contenía paja de trigo no amoniata (10.5 mg/dl).

Por otro lado, se encontró que el efecto principal de amoniacación cambió ($P<0.008$) la concentración de N-UREA en plasma sanguíneo pues su concentración se disminuyó de

9.8 hasta 6.7 mg/100 ml cuando los borregos consumieron rastrojo no amoniado y amoniado, respectivamente. (Cuadro 14).

Estos resultados no son similares a los encontrados por Herrera-Saldaña *et al.* (1982) al estudiar el efecto de la amonificación (5% $\text{NH}_3/\text{kg MS}$) de la paja de trigo en la alimentación de novillos, pues reportan que la concentración de N-UREA en plasma sanguíneo fue mayor ($P < 0.05$) con relación al consumo de paja no amoniada.

4.7 pH del líquido ruminal

Los resultados obtenidos indican que no hubo interacción entre los factores procesamiento físico y amonificación sobre los valores de pH en líquido ruminal ($P > 0.4$).

El procesamiento físico del rastrojo de maíz no modificó ($P > 0.7$) los valores del pH ruminal y en promedio se observaron valores de 7.2 (Cuadro 14).

Estos valores obtenidos del pH ruminal no están de acuerdo con los observados por Hinders (1960); citado por Moore (1964), pues afirma que al disminuir el tamaño de partícula del forraje el pH del contenido ruminal se reduce de 6.9 hasta 6.0. Moore (1964) también encontró que como resultado de moler los forrajes, la tasa de fermentación, la concentración de ácidos grasos volátiles y la relación propionato/acetato en el rumen se incrementa. Todo lo anterior sugiere que la disminución del tamaño de partícula disminuye el pH ruminal y por lo tanto se producen cambios en los patrones de fermentación del alimento, los cuales determinan directamente el comportamiento productivo animal. Sin embargo, estos cambios generalmente son acompañados de un mayor consumo de alimento.

El pH del líquido ruminal fue incrementado ($P < 0.008$) por la amonificación del rastrojo de maíz.

Estos valores de pH en líquido ruminal difieren de los obtenidos por Males y Gaskins (1982) y Nelson *et al.* (1984) pues reportan que dichos valores no cambiaron debido a la amonificación de paja de trigo y olote de maíz. Simultáneamente, Garret *et al.* (1979) encontraron que el consumo de paja de arroz amoniada por corderos y novillos, no cambió la concentración de ácidos grasos volátiles ni el pH dentro del rumen.

V. CONCLUSIONES

1. No existe interacción entre el procesamiento físico de la disminución del tamaño de partícula y el tratamiento de amonificación del rastrojo de maíz, sobre alguna de las variables de respuesta investigadas en el presente estudio.
2. La disminución del tamaño de partícula del rastrojo de maíz no deprimió significativamente la digestibilidad de la materia seca, materia orgánica, proteína cruda y fibra detergente neutro, pero sí la de fibra detergente ácido y lignina. Sin embargo, la disminución del tamaño de partícula de 10-15 cm (RM1) a molido con malla de 1.3 cm (RM2) o 0.8 cm (RM3) mejoró el consumo de materia seca digestible, materia orgánica digestible y proteína cruda digestible cuando se expresan en base al peso metabólico. La disminución del tamaño de partícula no afectó el balance de nitrógeno, nitrógeno retenido/nitrógeno absorbido, nitrógeno amoniacal en rumen o nitrógeno ureico en plasma. El cambio de peso fue mejor para los animales que recibieron el rastrojo de maíz molido con malla de 1.3 cm. (RM2). El molido del rastrojo de maíz con malla de 0.8 cm (RM3) no produce beneficios adicionales que el molido con malla de 1.3 cm. (RM2).
3. La amonificación del rastrojo de maíz duplicó el contenido de proteína cruda y disminuyó la cantidad de paredes celulares en el rastrojo de maíz. La amonificación

mejoró las digestibilidades de la materia seca, materia orgánica, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido, pero deprimió la de la proteína cruda. El consumo de nutrientes digestibles ($\text{g/kg PV}^{0.75}$); materia seca y materia orgánica) se mejoraron por la amoniacación, pero se deprimió el de proteína cruda digestible. El nitrógeno retenido, concentración de nitrógeno amoniacal y cambios de peso no fueron afectados por la amoniacación. En cambio, el pH ruminal aumentó y el nitrógeno ureico plasmático disminuyó debido a la amoniacación.

VI. LITERATURA CITADA

- Alden, W. G. 1970. The effects of nutritional deprivation on the subsequent productivity of sheep and cattle. *Nut. Abs. Rev.* 40 (4): 1167-1184.
- Al-Rabbat, M. F. and Heaney, D. P. 1978. The effects of anhydrous ammonia treatment of wheat straw and steam cooking of aspen wood on their feeding value and on ruminal microbial activity. I. Feeding value assessments using sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 58: 443.
- Allinson, D. W. 1969. Forage lignins and their relationships to nutritive value. In *Proc. Nat. Conf. on quality evaluation and utilization*. Nebraska Center for continuing Education. Lincoln. Nebraska.
- Améndola, M. R. D., Castillo, G. E. y Martínez, H. P. A. 2005. Perfiles por país de recursos pastura/forraje. México. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Roma. Italia. Disponible en: http://www.Fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/spanishtrad/mexico_sp/mexico_sp.htm
- Anderson, D. C. 1978. Use of cereal residues in beef cattle production systems. *J. Anim. Sci.* 46 (3): 849.
- Andrieu, J. 1976. Agronomic factors affecting the growth and composition of the maize plant. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 1: 263-271.
- AOAC. 1975. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Agricultural Chemists. 12th. ed. Washington, D.C., USA
- Arzola, C. 1972. Effects of soluble silica on *in vitro* digestibility of some range grasses and on metabolism of albino rats. M.Sc. Thesis. New Mexico State University., U.S.A.
- Baile, C.A. and J.M. Forbes. 1974. Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. *Physiol. Rev.* 54: 160.
- Balch, C.C. 1977. The potential of poor-quality agricultural roughages for animal feeding. In: FAO (ed) *New Feed Resources. Animal Production and Health Paper N° 4*. Roma. pp. 1-15.
- Barry, T. N. and P. D. Johnstone, 1976. A comparison of supplementary sources of nitrogen and energy for increasing the voluntary intake of barley straw by sheep. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 86: 163.
- Beardsley, D. W. 1964. Nutritive value of forage as affected by physical form. II. Beef cattle and sheep studies. *Symposium on Forage Utilization. J. Anim. Sci.* 23: 239-245.

- Beever, D. E., J. F., Coelhoda Silva, J. H. D. Prescott and D. G. Armstrong. 1972. The effect in sheep of physical form and stage of growth on the sites of digestion of a dried grass. *Brit. J. Nutr.* 28: 347.
- Blaser, R. A. 1964. Symposium of forage utilization: Effects of fertility levels and stage of maturity on forage nutritive value. *J. Anim. Sci.* 23: 246.
- Blaxter, K. L., F. W. Wainman and R.S. Wilson. 1961. The regulation of food intake by sheep. *Anim. Prod.* 3:51.
- Borhami, B. E. A. and J. Johnsen. 1981. Digestion and duodenal flow of ammonia-treated straw, and sodium hydroxide-treated straw supplemented with urea, soybean meal or fish viscera silage. *Acta Agr. Scand.* 31:245.
- Cabrales, F. J. M. y J. J. Castellanos. 1990. Rendimiento y calidad del rastrojo de diferentes genotipos de maíz cultivados bajo varias densidades de población. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. U.A.Ch. Chapingo, México.
- Cajal, G. 1983. Amoniated wheat straws and grain-sorghum residues for beef cattle. Master of Science. Thesis. Nebraska Of University. Nebraska. Lincoln. United States of America.
- Castañeda, F. E. y A. V. Monroy. 1984. Métodos de procesamiento de subproductos agrícolas para elevar su valor nutricional. En: Memoria del Seminario sobre Utilización de Subproductos Agroindustriales en la Alimentación de Rumiantes. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.
- Carmona, F. J. and J. F. D. Greenhalgh. 1972. The digestibility and acceptability to sheep of chopped or milled barley straw soaked or sprayed with alkali. *J. of Agr. Sci. Camb.* 78: 477- 485.
- Cullison, A. E. 1961. Effect of physical form of the ration on steer performance and certain rumen phenomena. *J. Anim. Sci.* 20: 478.
- De Alba, J. 1974. La alimentación del ganado en América Latina. Cuarta reimpresión. Edit. La Prensa Medica. México. D. F.
- Díaz, T., G. Llamas y R. Gómez. 1983. Paja de trigo tratada con amonia en gas y dos fuentes de energía para novillos en crecimiento. Reunión de Investigación Pecuaria en México. p. 684.
- Dolberg, F., M. Saadullah, M. Haque y R. Ahmed. 1981. Almacenamiento de la paja tratada con urea utilizando material indígena. *Rev. Mund. de Zootecnia.* 38: 37-41.

- Donefer, E. 1973. Effect of processing on the nutritive value of roughages. In: N.A.S. (ed.). Effect of Processing on the Nutritive Value of Feeds. National Academy of Science. Washington, D.C. pp. 211-227.
- Donefer, E. 1977. Physical treatment of poor-quality roughages at commercial and farm levels. In: FAO (ed.). New Feed Resources. Animal Production and Health Paper. No. 4. Roma.
- Dyer, I. A., E. Riquelme, L. Baribo y B. Y. Couch. 1975. Waste cellulose as an energy source for animal protein production. World Animal Review. 15: 39.
- Elías, A. 1976. Factores que afectan la celulolisis ruminal. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. Mimeo.
- Fahmy, S. T. M. and E. R. Orskov. 1984. Digestion and utilization of straw. I. Effect of different chemical treatment on degradability and digestibility of barley straw by sheep. Anim. Prod. 38:69-74.
- F.A.O. 1977. Nuevos recursos forrajeros. Estudios FAO. Producción y Sanidad Animal. 4. Roma 300 p.
- Feist, W. C., A. J. Boker and H. Tarkaw. 1971. Alkali requirements for improving digestibility of hard woods by rumen microorganism. J. Anim. Sci. 30: 832.
- Fernández, R. S. 1981. Efecto del procesamiento físico, del nivel de alimentación y de la suplementación nitrogenada sobre la utilización del rastrojo de maíz por borregos. Tesis. Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Fernández, R. S. y G. R. Orcasberro. 1982. Los forrajes en la alimentación de los ovinos. Información presentada en el Curso Nutrición Ovina. E.N.E.P.-Cuautitlán. UNAM. Publicación del Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Fernández, R. S., V. E. Riquelme y S. S González. 1981a. Utilización del rastrojo de maíz. I. Efectos del procesamiento físico y nivel de alimentación. Memorias ALPA, VIII Reunión. R-14. México.
- Fuentes, J., Magaña, C., Suárez, L., Peña, R., Rodríguez, S. y Ortiz de la Rosa, B. 2001. Análisis químico y digestibilidad in vitro de rastrojo de maíz (Zea mays, L.). Revista Agronomía Mesoamericana. 12 (2): 189-192.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Kppen. Instituto de Geografía. U.N.A.M. México.

- Garret, W. N., H. G. Walker, G. O. Kohler and M. R. Hart. 1979. Response of ruminants to diets containing sodium hydroxide or ammonia treated rice straw. *J. Anim. Sci.* 48 (1): 92-103.
- Garret, W. N., H. G. Walker, G. O. Kohler, A. C. Waiss, Jr., R. P. Graham, N. E. East and M. R. Hart. 1974. Nutritive value of NaOH and NH₃ treated rice straws. *Proc. Western Section ASAS.* 25: 317.
- Ghadaki, M. B., P. B. O'Donovan and R. D. Behesti. 1972. Comparison of three straw-based rations for ewes during pregnancy and the pre-lambing response to selected levels of concentrates feeding. Technical Report N° 18. Animal Husbandry Research Institute. Heydarabad, Iran. p. 18.
- Greenhalgh, J. F. D. 1980. Use of straw and cellulosic wastes and methods of improving their value. In: Symposium by-products and wastes in animal feeding. Occasional Publication. N° 3. E.R. Orskov Editor. The British Society of Animal Production. Reading, England.
- Greenhalgh, J. F. D. and F. W. Wainman. 1972. The nutritive value of processed roughages for fattening cattle and sheep. *Proc. Br. Soc. Anim. Prod.* 61-72.
- Grieve, C. M., A. R. Robblee and L. W. McElroy. 1963. Native lowland hay in pelleted and non-pelleted rations for sheep. III. Effect on production of volatile fatty acids in the rumen. *Can. J. Anim. Sci.* 43: 202.
- Gutiérrez, O. E. 1981. Efecto del tratamiento químico y la suplementación de cuatro nutrientes sobre la digestibilidad *in vitro* del rastrojo de maíz y la médula de caña. Tesis. Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Habjipanayiotov, M., A. Louca and M. J. Lawlor. 1975. A note on the straw intake of sheep given supplements of urea-molasses, soybean meal, barley-urea or barley. *Animal Production.* 429-432.
- Hardison, W. A. 1959. Observations on the use chromic oxide for estimating the fecal output of dairy animals. *Journal of Dairy Science.* 42 (2)346-352.
- Harris, L. E. 1970. Métodos para el análisis químico y la evaluación biológica de alimentos para animales. Universidad de Florida, Gainesville.
- Herrera-Saldaña, R. S., D. C. Church and R. O. Kellens. 1982. The effect of ammoniation treatment on intake and nutritive value of wheat straw. *J. Anim. Sci.* 54 (3):603-608.
- Huerta, B. M. 1987. Composición y valor nutritivo para rumiantes de algunos subproductos lignocelulósicos. Mimeógrafo. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

- Huerta, B. M. 1995. Comportamiento de ovinos alimentados con subproductos lignocelulósicos. Memorias del curso de actualización tópicos actuales sobre nutrición y alimentación de ovinos en engorda. Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal y Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinocultura. Chapingo, México. P. 32-53.
- Hodge, J. E. 1953. Dehydrated foods-chemistry of browning reactions in model systems. *J. Agric. Found Chem.*
- Hogan, J. P. and R. H. Weston. 1969. The digestion of pasture plants by forage oats varying in maturity and soluble carbohydrate. *Aust. J. Agric. Res.* 20: 347.
- Homb, T., F. Sundtol and J. Arnason. 1977. Chemical treatment of straw at commercial and farm levels. In: FAO (ed.). *Nuevos Recursos Forrajeros. Estudios F.A.O. Producción y sanidad animal. N° 4.* Roma.
- Horton, G. M. 1978. The intake and digestibility of ammoniated cereal straws by cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 58: 471.
- Horton, G. M. and G. M. Steacy. 1979. Effect of anhydrous ammonia treatment on the intake and digestibility of cereal straws by steers. *J. Anim. Sci.* 48 (5): 1239-1249.
- Hountert Van, M. F. J. 1981. Some aspects of rice straw as ruminant feed in Asia. Final Dissertation in the Framework of a Study Tropical Animal Husbandry of the Agricultural College Deventer. The Netherlands.
- Hunt, C. W., J. A. Paterson, G. M. Zinn and J. E. Williams. 1984. Effect of particle length and sodium hydroxide treatment of wheat straw on site and extent of digestion by lambs. *J. Anim. Sci.* 58 (6): 1454-1460.
- Jackson, M. G. 1977. The alkali treatment of straws. Review article. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2: 105-130.
- Jackson, P., J. A. Rook and K. G. Towers. 1972. Influence of the physical straw diet on nitrogen metabolism in sheep. *J. of Dairy Research.* 38: 33-42.
- Javed, A. H. and E. Donefer. 1970. Alkali treated straw rations for fattening lambs. *J. Anim. Sci.* 31(1): 245.
- Jayasuriya, M. C. N. and E. Owen. 1975. Sodium hydroxide treatment of barley straw; effect of volume and concentration of solution on digestibility and intake by sheep. *Anim. Prod.* 21: 313.
- Jiménez, D. A., L. G. Llamas, F. Preciado de la Torre y G. F. Rodríguez. 1984a. Respuesta de vaquillas cebú a dietas con dos niveles de soca de sorgo amonificada. Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias. Memoria. Reunión de Investigación Pecuaria en México. México, D.F.

- Jiménez, D. A. y A. S. Shimada. 1984. Comportamiento del borrego pelibuey en crecimiento, alimentado con dietas con base en rastrojo de maíz tratado con álcalis (NH_3 , NaOH y Urea). Tec. Pec. Méx. 47: 142-146.
- Kay, M. 1972. Processed roughages in diets containing cereals for ruminants. In: Cereal Processing and Digestion. London, US Feed Grains Council.
- Kernan, J. A., W. L. Crowle, D. T. Spurr and E. C. Coxworth. 1979. Straw quality of cereal cultivars before and after treatment with anhydrous ammonia. Can. J. Anim. Sci. 59: 511.
- Kevelenge, J. E. E., Said, A. N. y Kiflewahid, B. 1983. The nutritive value of four arable farm by products commonly feed to dairy cattle by small scale farmers in Kenia. II. Utilization of nutrients by wethers sheep. Trop. Anim. Prod. 8 (3):171-179.
- Kiflewahid, B. 1983. As overview of research methods employed in the evaluation of by-products for use in animal feed. In: B. Kiflewahid, G. R. Potts and R. M. Kryskale. (eds.) By-product Utilization for Animal Production. International Development Research Centre. Ottawa, Canada.
- Klopfenstein, T. 1978. Chemical treatment of crop residues. J. Anim. Sci. 46 (3): 841.
- Klopfenstein, T. J., V. E. Krause, M. J. Jones and Walter Woods. 1972. Chemical treatment of low-quality roughages. J. Anim. Sci. 35: 418.
- Kohler, G. O., Jr. H. G. Walker and D. O. Kuemichy. 1979. Processing and use of crop residues including alfalfa press cake. Federation Proc. 38: 1934.
- Kossila, V. L. 1984. Location and potential feed use. In: F. Sundstol y E. Owen. (eds.). Straw and other fibrous by- products as feed. Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York-Tokio.
- Lapins, P. and E. R. Watson. 1970. Loss of nitrogen from maturing plants. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 10: 599.
- Linares, O. J. P. 1986. Evaluación de la paja de pasto salado (*Distichlis spicata*) tratada con amoniaco en la engorda de bovinos. Tesis Profesional. Médico Veterinario Zootecnista. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. U.N.A.M. México.
- Llamas, L. G. 1984. Tratamiento alcalino de pajas y rastrojos. En: Soriano, J., F. Ruiz y A.S. Shimada. (eds.). Segundo curso Nacional de Actualización de Nutrición y Alimentación de Rumiantes. México, D.F.
- Maeng, W. J. and R. L. Baldwin. 1976. Factors influencing rumen microbial growth rates and yields: Effect of amino acid additions to a purified diet with nitrogen from urea. J. Dairy Sci. 59:648.

- Magaña, E. C. 1998. Análisis químico y digestibilidad *in vitro* de rastrojo de maíz (*Zea mays*) a diferentes tamaño de partícula tratado con amoniaco anhidro. Tesis. División de ciencia animal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista. Saltillo. Coahuila. México.
- Males, J. R. and C. T. Gaskins. 1982. Growth, nitrogen retention, dry matter digestibility and ruminal characteristics associated with ammoniated wheat straw diets. J. Anim. Sci. 55 (3):505- 515.
- Marten, G. C. 1978. The animal-plant complex in forage palatability phenomena. J. Anim. Sci. 46: 1470.
- Marten, G. C. 1969. Measurement and significance of forage palatability. *In*: Proc. Nat. Conf. on forage quality evaluation and utilization. Nebraska Center for continuing education. Lincoln. Nebraska.
- Martin, P. C., T. C. Cribeiro, A. Cabello y A. Elías. 1974. Efecto del hidróxido de sodio y la presión sobre la digestibilidad de la materia seca de bagazo y bagacillo de caña. Res. Cubana. Cienc. Agric. 8: 23.
- Martínez, A. M., T. J. Soriano y A. S. Shimada. 1984. Crecimiento de borregos pelibuey alimentados con rastrojo de maíz tratado con amoniaco anhidro. Técnica Pecuaria en México. En prensa.
- Martínez, G. C. y G. R. Orcasberro. 1978a. Los forrajes toscos y su utilización. Boletín Rumiantes. E.N.E.P. Cuautitlán. U.N.A.M. México. 2 (1):61.
- Martínez, G. C. y G. R. Orcasberro. 1978b. Efecto de la suplementación nitrogenada sobre el valor nutritivo de residuos de candelilla (*Euphorbia cerifera*) con borregos. Chapingo, Nueva Época. 9: 80.
- Mathison, G. W. 1976. Further studies with straw diets for wintering beef cows. Agriculture Bulletin 55th. Annual Feeders Day Report, University of Alberta, Canada. pp. 9-13.
- Mathison, G. W., R. T. Hardin and B. E. Beck. 1981. Supplemental protein, magnesium y selenium plus vitamin E for beef cows fed straw diets in winter. Canadian Journal of Animal Science. 61: 375-392.
- McDonald, P., R. A. Edwards and J. F. D. Greenhalgh. 1973. Animal Nutrition. Oliver and Boyd. Edinburgh. pp. 185-242.
- Milne, J. A. and R. C. Campling. 1972. Intake and digestibility by sheep of artificially dried forages in several physical farms. J. Agric. Sci. 78: 79.

- Minson, D. J. 1963. The effect of pelleting and wafering on the feeding value of roughage-a review. *J. Brit. Grassld. Soc.* 18: 39.
- Mira, J. E. and M. Kay. 1983. Treatment of barley straw with urea or anhydrous ammonia for growing cattle. *Anim. Prod.* 36: 271.
- Moot, G. O. 1959. Symposium on forage evaluation. IV. Animal variation and measurement of forage quality. *Agron. J.* 51: 223.
- Moore, L. A. 1964. Nutritive value of forage as affected by physical form. Part. I. General principles involved with ruminants and effect of feeding pelleted or wared forage to dairy cattle. *Symposium of Forage Utilization. J. Anim. Sci.* 23: 230.
- Moore, J. E. and G. O. Mott. 1973. Structural inhibitors of quality in tropical grasses. *In: A.G. Matches. (ed.). Anti-quality Components of forages. CSSSA. Special Publication. No. 4. Pp.53-98.*
- Morrison, F. B. 1956. Compendio de alimentación del ganado. Apéndice. Editorial UTEHA. México.
- Nelson, M. L., J. T. Klopfenstein and A. R. Britton. 1984. Protein supplementation of ammoniated roughages. I. Corncobs supplemented with a blood meal-corn gluten meal mixture-lamb studies. *J. Anim. Sci.* 59 (6): 1601-1609.
- Nelson, M. L., G. I. Rush and J. T. Klopfenstein. 1985a. Protein supplementation of ammoniated roughages. II. Wheat straw supplemented with alfalfa, blood meal or soybean meal fed to wintering steers. *J. Anim. Sci.* 61 (1): 245-251.
- Nelson, M. L., J. T. Klopfenstein, A. R. Britton and S. R. Lowry. 1985b. Protein supplemented of ammoniated roughages. III. Corncobs supplemented with a blood meal-corn gluten meal mixture-steers studies. *J. Anim. Sci.* 61 (6): 1567-1569.
- NRC. 1984. Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 6th. ed. revised. National Academy of Sciences. Washington, D.C.
- NRC. 1975. Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirements of Sheep. 5th ed. National Academy of Sciences. Washington, D.C.
- O'Donovan, P. B. 1983. Untreated straw as a livestock feed nutrition. *Abstracts and Reviews.* 53 (7): 441-452.
- O'Donovan, P. B. and M. B. Ghadaki. 1973. Effect of diets containing different levels of wheat straw on lamb performance feed intake and digestibility. *Animal Production.* 16: 77-85.

- Oji, U. I. and D. N. Mowat. 1979. Nutritive value of thermoammoniated and steam-treated maize stover. I. Intake, digestibility and nitrogen retention. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 4: 177.
- Oji, U. I., D. N. Mowat and J. E. Winch. 1977. Alkali treatments of corn stover to increase nutritive value. *J. Anim. Sci.* 44: 798
- Orcasberro, G. R. y R. S. Fernández. 1982. Los forrajes en la alimentación de los ovinos. Universidad Autónoma Chapingo. Depto. de Zootecnia. Chapingo, México.
- Orskov, E. R., F. D. Hovell and F. Mould. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop. Anim. Prod.* 5: 195-213.
- Ortiz, R. G. 1975. Efecto del hidróxido de calcio al 0.1% sobre el valor nutritivo del rastrojo de maíz en ovinos. Tesis Profesional. Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Departamento de Zootecnia. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Owen, E. 1979. Processing of roughages. In: Haresign, W. (ed). *Recent Advances in Animal Nutrition*. London, Butterworths. pp. 127-148.
- Owen, E., T. Klopfenstein and N. A. Urio. 1984. Treatment with other chemicals. In: Sundstol, F. y E. Owen. (eds.). *Straw and other by-products as feed*. Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- Paterson, J. A., T. J. Klopfenstein and R.A. Britton. 1981. Ammonia treatment of corn plant residues: Digestibilities and growth rates. *J. Anim. Sci.* 53 (6): 1592-1600.
- Pigden, W. J. and F. Bender. 1971. Utilization of lignocellulose by ruminants. *Wld. Anim. Rev. (FAO)*. 4:44.
- Preston, R. L. and R. Osmond. 1971. Urea nitrogen determination by spectrophotometric techniques. Washington State University. Pullman, Washington, (Mimeo).
- Preston, T. R. and R. A. Leng. 1984. Supplementation of diets based on fibrous residues and by-products. In: Sundstol, F. y E. Owen. (eds.). *Straw and other fibrous by-products as feed*. Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York-Tokio.
- Raymond, W. F. 1969. The nutritive value of forage crops. *Adv. Agron.* 21: 1.
- Reyes, M. L., Camacho, V. T. C y Guevara, M. F. 2013. Rastrojos: Manejo, uso y Mercado en el centro y sur de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro técnico. No. 7. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México.
- Rexen, F. 1979. Low-quality forages improve with alkali treatment. *Feedstuffs*. 51: 42.

- Riquelme, V. E. 1984. Suplementación y efectos asociativos en dietas basadas en subproductos agrícolas. En: Memorias del Seminario sobre Utilización de subproductos agroindustriales en la alimentación de rumiantes. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Ruelas, A. H. 1985. Guía para producir pacas de forraje en Campeche. Desplegable para productores N° 1. Campo Agrícola Experimental de Campeche. Centro de Investigaciones Agrícolas de la Península de Yucatán. S.A.R.H. México.
- Romero, G. A. 1975. Influencia de la forma física del rastrojo de maíz sobre el consumo voluntario y la digestibilidad aparente en ovinos. Tesis. Depto. De Zootecnia. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo. México.
- Saenger, P. F., R. P. Lemenager and K. S. Hendrix. 1982. Anhydrous ammonia treatment of corn stover and its effect on digestibility, intake and performance of beef cattle. J. Anim. Sci. 54 (2): 419-425.
- Said, A. N., F. Sundstol, S. K. Tubei, N. K. R. Musimba and F. C. Ndegwa. 1983. Use of by-products for ruminant feeding in Kenya. In: B. Kflewahid, G. R. Potts y R. M. Kryskale. (eds.) By-product utilization for animal production. International Development Research Centre. Ottawa, Canada.
- Sánchez del R., C. 1994. Factores de manejo que afectan el rendimiento y calidad del rastrojo de maíz. Tesis. Maestría en Ciencias en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. U.A.Ch. Chapingo, Méx.
- Sánchez, E. G. 1976. Cambios en la composición química y digestibilidad de forrajes de baja calidad nutritiva mediante el uso de diversos compuestos químicos. Técnica Pecuaria en México. 31: 68.
- Santacruz, M. I., L. G. Llamas, R. Gómez y M. Ramírez. 1983. Tratamiento alcalino de nueve esquilmos agrícolas con amoniaco o sosa caustica. Centro de Investigaciones Pecuarias del Estado de Sonora. CIPES-INIP. Revista Mexicana de Producción Animal. 15: 80.
- SAS. 1982. SAS User's Guide: Statistics. SAS Inst. Inc., Cary, N. C.
- Schneider, B. H. and W. P. Flatt. 1975. The evaluation of feeds through digestibility experiments. The University of Georgia. Press, Athens.
- Shimada, A. S., G. F. Rodríguez y I. J. A. Cuarón. 1986. Engorda de ganado bovino en corrales. Consultores en Producción Animal, S.C. México, D.F.
- Shin, H. T., D. S. Garrigus and F. N. Owens. 1975. Sodium hydroxide treated wheat straw rations for sheep. J. Anim. Sci. 41 (1): 417. (Abstr).

- Singh, M. and M. G. Jackson. 1971. The effects of different levels of sodium hydroxide spray treatment of wheat straw on consumption and digestibility by cattle. J. Agric. Sci. 77: 5.
- Snedecor, G. W. and G. Cochran. 1967. Statistical Methods. (6th. Ed.). The Iowa State Univ. Press. Ames.
- Stapleton, P. G. 1981. The future for biological improvement of straw digestibility. Agricultural Progress. 56: 1265 (Abstract).
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1960. Principles and Procedures of Statistics. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York. 481 p.
- Spahr, S. L., E. M. Kesler, J. W. Bralzer and J. B Washko. 1961. Effect of stage of maturity at first cutting on quality of forages. J. Dairy Sci. 44: 502.
- Stock, R. A. 1982. Basic protein metabolism in ruminants. Ph.D. Dissertation. Univ. of Nebraska, Lincoln.
- Stock, R., N. Merchen, T. Klopfenstein and M. Poos. 1981. Feeding value of slowly degraded proteins. J. Anim. Sci. 53: 1109.
- Stuart, R. 1977. Los residuos agrícolas y sus posibilidades de empleo en la alimentación del ganado. CIDA. Vol. 4 No. 3-4 Marzo-Abril. La Habana, Cuba.
- Sundstol, F., E. Coxwort y D. N. Mowat. 1978. Mejora del valor nutritivo de la paja mediante tratamiento con amoníaco. Revista Mundial de Zootecnia. 26: 13.
- Sundstol, F. and E. Coxworth. 1984. Ammonia treatment. In: Sundstol y E. Owen. (eds.). Straw and Other Fibrous by-products as Feed. Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- Swan, H. and Clarke, V. J. 1974. The use processed straw in rations for ruminants. Proc. Univ. Nottingham Nutr. Conf. Feed. Manufrs.8: 205-233.
- Theander, O. and P. Aman. 1984. Anatomical and chemical characteristics. In: Sundstol, F. y E. Owen. (eds.). Straw and Other Fibrous by-products as Feed. Elsevier. Amsterdam- Oxford-New York-Tokyo.
- Tovar, L. I. 1983. Valor nutritivo de la paja de frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.) suplementada, consumida *ad libitum* por ovinos, caprinos y bovinos. Tesis profesional. Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Valdez, O. A. y H. G. Núñez. 1984. Uso de los esquilmos agrícolas para la alimentación animal en la zona centro de México. En: Memoria del Seminario Utilización de

Subproductos Agroindustriales en la Alimentación de Rumiantes. V. Aniversario. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

- Van Soest, P. J. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feed. II Rapid methods for the determination of fiber and lignin. J. Assoc. Official Anal. Chem. 4: 829.
- Van Soest, P. J. 1982. Nutritional ecology of ruminant. O.I.B. Books. Corvallis, Oregon.
- Van Soest, P. J. and R. H. Wine. 1967. Use of detergent in analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. J. Assoc. Official Anal. Chem. 50: 50-55.
- Waagepetersen, J. and K. Vestergaard Thomsen. 1977. Effect on digestibility and nitrogen content of barley straw of different ammonia treatments. J. Feed Sci. Technol. 2: 133-142.
- Wainman, F. W. and K. L. Blaxter. 1972. The effect of grinding and pelleting on the nutritive value of poor-quality roughages by sheep. Journal of Agricultural Science Camb. 79: 435-445.
- Waiss, A. C., J. R. Guggols, G. U. Kohler, Jr. Walker and W. N. Garret. 1972. Improving digestibility of straw for ruminant feeds by aqueous ammonia. J. Anim. Sci. 35: 109-112.
- Walker, H. G. 1984. Physical treatment. En: F. Sundstol y E. Owen (eds.). Straw and Other Fibrous By-products as Feed. Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- Zorrilla-Rios, J., F. N. Owens, G. W. Hourn and R. W. McNew. 1985. Effect of ammoniation of wheat straw on performance and digestion kinetics in cattle. J. Anim. Sci. 60: 814.

APÉNDICE

Apéndice 1. Niveles de significancia para los efectos principales y de la interacción procesamiento físico X amoniación, sobre el consumo de nutrientes digestibles en ovinos (g/animal/día).

Nutriente.	Efectos principales.		Interacción.
	Procesamiento físico.	Amoniación.	Procesamiento físico x amoniación.
Materia seca.	0.1 NS	0.007*	0.5 NS
Materia orgánica.	0.1 NS	0.009*	0.5 NS
Proteína cruda.	0.01*	0.003*	0.06 NS
Nitrógeno.	0.2 NS	0.5 NS	0.3 NS
Fibra detergente neutro.	0.04*	0.09 NS	0.69 NS
Fibra detergente ácido.	0.01*	0.1 NS	0.8 NS
Lignina.	0.2 NS	0.2 NS	0.7 NS

¹Valores en las probabilidades menores de 0.05, se consideran como significativos (*) y mayores como no significativos (NS).

Apéndice 2. Niveles de significancia para los efectos principales y de la interacción procesamiento físico X amoniación, sobre el consumo de nutrientes digestibles en ovinos (g/Kg PV^{0.75}).

Nutriente.	Efectos principales.		Interacción.
	Procesamiento físico.	Amoniación.	Procesamiento físico x amoniación.
Materia seca.	0.1 NS	0.007*	0.5 NS
Materia orgánica.	0.1 NS	0.009*	0.5 NS
Proteína cruda.	0.01*	0.003*	0.06 NS
Nitrógeno.	0.2 NS	0.5 NS	0.3 NS
Fibra detergente neutro.	0.04*	0.09 NS	0.69 NS
Fibra detergente ácido.	0.01*	0.1 NS	0.8 NS
Lignina.	0.2 NS	0.2 NS	0.7 NS

¹Valores en las probabilidades menores de 0.05, se consideran como significativos (*) y mayores como no significativos (NS).

Apéndice 3. Niveles de significancia para los efectos principales y de la interacción procesamiento físico X amoniación, sobre el consumo de material seco en ovinos (g/animal/día).

Nutriente.	Efectos principales.		Interacción.
	Procesamiento físico.	Amoniación.	Procesamiento físico x amoniación.
Materia seca.	0.1 NS	0.007*	0.5 NS
Materia orgánica.	0.1 NS	0.009*	0.5 NS
Proteína cruda.	0.01*	0.003*	0.06 NS
Nitrógeno.	0.2 NS	0.5 NS	0.3 NS
Fibra detergente neutro.	0.04*	0.09 NS	0.69 NS
Fibra detergente ácido.	0.01*	0.1 NS	0.8 NS
Lignina.	0.2 NS	0.2 NS	0.7 NS

¹Valores en las probabilidades menores de 0.05, se consideran como significativos (*) y mayores como no significativos (NS).

Apéndice 4. Niveles de significancia para los efectos principales y de la interacción procesamiento físico X amoniación, sobre la digestibilidad aparente de los componentes químicos de la ración.

Nutriente.	Efectos principales.		Interacción.
	Procesamiento físico.	Amoniación.	Procesamiento físico x amoniación.
Materia seca.	0.1 NS	0.007*	0.5 NS
Materia orgánica.	0.1 NS	0.009*	0.5 NS
Proteína cruda.	0.01*	0.003*	0.06 NS
Nitrógeno.	0.2 NS	0.5 NS	0.3 NS
Fibra detergente neutro.	0.04*	0.09 NS	0.69 NS
Fibra detergente ácido.	0.01*	0.1 NS	0.8 NS
Lignina.	0.2 NS	0.2 NS	0.7 NS

¹Valores en las probabilidades menores de 0.05, se consideran como significativos (*) y mayores como no significativos (NS).

Apéndice 5. Niveles de significancia para los efectos principales y de la interacción procesamiento físico X amoniación, sobre el balance de nitrógeno, las concentración de N-NH₃ y N-UREA, el pH y cambio de peso vivo en ovinos.

Nutriente.	Efectos principales.		Interacción.
	Procesamiento físico.	Amoniación.	Procesamiento físico x amoniación.
Materia seca.	0.1 NS	0.007*	0.5 NS
Materia orgánica.	0.1 NS	0.009*	0.5 NS
Proteína cruda.	0.01*	0.003*	0.06 NS
Nitrógeno.	0.2 NS	0.5 NS	0.3 NS
Fibra detergente neutro.	0.04*	0.09 NS	0.69 NS
Fibra detergente ácido.	0.01*	0.1 NS	0.8 NS
Lignina.	0.2 NS	0.2 NS	0.7 NS

¹Valores en las probabilidades menores de 0.05, se consideran como significativos (*) y mayores como no significativos (NS).