



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



11662
3
rej

"EVALUACION DEL RASTROJO DE MAIZ TRATADO
CON PEROXIDO DE HIDROGENO, AMONIACO,
HIDROXIDO DE SODIO, O ADKIONADO CON
MEDIOS PARA EL ENRIQUECIMIENTO BIOLÓGICO"

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS

EN EL AREA DE NUTRICION ANIMAL
P R E S E N T A :

M.V.Z. JORGE ARMANDO BONILLA CARDENAS

ASESOR:

Ph.D. GERARDO LLAMAS LLAMAS

AJUCHITLAN, GRO.

AGOSTO DE 1995

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

EVALUACION DEL RASTROJO DE MAIZ TRATADO CON PEROXIDO DE HIDROGENO, AMONIACO, HIDROXIDO DE SODIO, O ADICIONADO CON MEDIOS PARA EL ENRIQUECIMIENTO BIOLOGICO.

Jorge Armando Bonilla Cárdenas
Asesor: Dr. Gerardo Llamas Lamas

El objetivo general del presente estudio fue determinar los efectos de la aplicación de hidróxido de sodio (NaOH) y amoníaco (NH₃), solos, o en combinación con peróxido de hidrógeno (H₂O₂), y de la adición de medios para el enriquecimiento biológico (MEB; levaduras, minerales, melaza y urea) al rastrojo de maíz (RM), en su composición química, digestibilidad *in vitro* (DIV) y valor nutritivo. Se realizaron cuatro experimentos (Exp). En el Exp 1 los tratamientos (T) fueron: T1) Testigo, T2) 3.5% NH₃, T3) 3.5% NH₃ + 2.0% H₂O₂, T4) 5.0% NaOH y T5) 5.0% NaOH + 2.0% H₂O₂. En el Exp 2 los T fueron: T1) Testigo, T2) 1.75% NH₃ + 2.5% NaOH + 2.0% H₂O₂, T3) 3.5% NH₃ + 2.5% NaOH + 2.0% H₂O₂, T4) 1.75% NH₃ + 5.0% NaOH + 2.0% H₂O₂ y T5) 3.5% NH₃ + 5.0% NaOH + 2.0% H₂O₂. Los T del Exp 3 fueron: T1) Testigo, T2) 3.5% NH₃ + 5.0% NaOH + 2.0% H₂O₂, T3) 3.5% NH₃ + 5.0% NaOH + 2.0% H₂O₂ + levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) + minerales, T4) 3.5% NH₃ + 5.0% NaOH + 2.0% H₂O₂ + levaduras + minerales + 5.0% melaza y T5) 3.5% NH₃ + 5.0% NaOH + 2.0% H₂O₂ + levaduras + minerales + 5.0% melaza + 4.0% urea. Todos los porcentajes fueron con base en la materia seca (MS) del RM. La unidad experimental consistió en 200 g de RM contenidos en bolsas de polietileno. El NH₃ se aplicó como NH₄-OH en solución, vertiéndolo directamente sobre el RM. El NaOH y el H₂O₂ se aplicaron en solución, asperjándolos sobre el RM. La dosis de levaduras fue de 0.25 g kg⁻¹ MS y la dosis de minerales de 1.0 g kg⁻¹ MS. Los criterios de respuesta fueron los cambios en la composición química del RM, considerando: pH, MS, materia orgánica (MO), cenizas, nitrógeno (N), proteína verdadera (PV); sólo en el Exp 3, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa (HC), celulosa y lignina. También se consideraron los cambios en la DIV de la MS (DIVMS), MO (DIVMO), FDN (DIVFDN), tasa de digestión (TD) y tiempo lag (TL). El diseño experimental de los Exp 1, 2 y 3 fue completamente al azar. El Exp 4 consistió en determinar el consumo y la digestibilidad aparente *in vivo* (DAV) de dietas conteniendo 65% de RM tratado químicamente. Se usaron ocho ovinos Pelibuey machos, distribuidos en un diseño de cuadrado latino 4 x 4 duplicado. Los T fueron: T1) Testigo, T2) 5.0% NaOH + 2.0% H₂O₂, T3) 3.5% NH₃ + 5.0% NaOH y T4) 3.5% NH₃ + 5.0% NaOH + 2.0% H₂O₂. La duración del Exp 4 fue de 84 días, divididos en cuatro periodos de 21 días. El análisis estadístico consistió en análisis de varianza y comparación de medias. En el Exp 1, tanto el NH₃ como el NaOH incrementaron (P<0.05) el pH inicial y afectaron la composición química del RM. Los efectos sobresalientes consistieron en la disminución de la FDN (14%) y de la HC (27%) y en el incremento del N

(138±); sólo con NH_3 , de la DIVMS (23±), DIVMO (24±) y DIVFDN (30±). Sin embargo, ocurrió una interacción entre álcalis y H_2O_2 , en la que la adición de H_2O_2 contribuyó a disminuir la FDN e incrementar la DIVMS y la DIVMO, solo cuando se uso NaOH. En el tratamiento $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$, el pH inicial fue inferior de 11.5, pH considerado como óptimo para la acción del H_2O_2 . La celulosa y la lignina fueron similares ($P>0.05$) en el RM testigo y en los rastrojos tratados. La TD no se afectó ($P>0.05$) por los tratamientos químicos, pero el TL disminuyó ($P<0.05$) por efecto del tratamiento químico. En el Exp 2, el nivel de 2.5% de NaOH no fue suficiente para obtener un pH mayor de 11.5, ni coadyuvó para que el NH_3 alcanzara este pH. Los niveles de 3.5% de NH_3 y 5.0% de NaOH provocaron la mayor ($P<0.05$) disminución de FDN (24±) y de HC (45%) y el mayor incremento en la DIVFDN (27%). La DIVMS y la DIVMO no se afectaron por el nivel de álcali, siendo únicamente diferentes del testigo. La TD no se afectó por ninguno de los tratamientos químicos, pero el TL disminuyó con el nivel de 5.0% de NaOH. En el Exp 3, la adición de los MEB no aumentó ($P>0.05$) la PV. El incremento en la DIVMS y en la DIVMO fue de reducida magnitud, en comparación al provocado por el tratamiento químico. La DIVFDN a 72 h no se incrementó con los MEB, respecto al tratamiento químico. La magnitud de los cambios en la composición química y el incremento en la DIV, fue similar a lo obtenido en los Exp 1 y 2. En el Exp 4 se obtuvo un consumo 26% mayor ($P<0.05$) de MS, en las dietas que contenían el RM tratado, en comparación al obtenido con la dieta testigo. El incremento en el consumo de MS provocó que se incrementara el consumo de MO, cenizas, FDN, FDA y celulosa. La DAV fue 21% mayor ($P<0.05$) en las dietas conteniendo el RM tratado, en comparación a la dieta testigo. La DAV de la MO, FDN, FDA, HC y celulosa también se incrementó con el tratamiento químico, siendo similares ($P>0.05$) las dietas con RM tratado. La DAV de la PC fue similar en todas las dietas, promediando 59%. La DAV no se deprimió debido al mayor consumo de MS. La ganancia diaria de peso fue mayor ($P<0.05$) con las dietas conteniendo el RM tratado, en comparación a la obtenida con la dieta testigo; 78 vs. 161 g día^{-1} , respectivamente, siendo similares entre sí las dietas con RM tratado. La similitud ($P>0.05$) en el consumo de alimento y en la DAV de este, entre las dietas conteniendo el RM tratado, indica que la adición de H_2O_2 no mejoró estas variables. Se concluye que el H_2O_2 en combinación con NaOH o NH_3 , no mejora la composición química ni la DIV del RM, así como tampoco el consumo, ni la DAV de dietas conteniendo RM tratado. Los MEB usados en el presente estudio no mejoraron substancialmente las características de composición química ni la DIV del RM.

DEDICATORIA

A MI MADRE, ANA MARÍA

Por su gran esfuerzo y desinteresado empeño que siempre ha mostrado para darme siempre lo mejor. Mi agradecimiento eterno.

A MI ESPOSA, SILVIA

Por compartir conmigo su amor y su vida. Por todo lo que significa.

A NUESTRO HIJO,

Que se gesta aún, y a los que Dios sabe si traerá después.

A MIS TÍOS, VICENTE (Q.E.P.D.)

DOLORES

CARMEN

ISABEL

Ma. ESTELA

Por sus constantes estímulos y consejos que han contribuido positivamente para mi formación.

A MIS PRIMOS

Porque son como verdaderos hermanos.

AGRADECIMIENTOS

- A DIOS, por el impulso, la fuerza y la perseverancia, que hizo de mi, compañeros inseparables. *"Padre, dame la serenidad para aceptar las cosas que no puedo cambiar, el coraje para cambiar las que puedo, y la sabiduría para conocer la diferencia"*.
- Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, por ofrecerme la oportunidad y otorgarme el apoyo para efectuar los estudios de Maestría, en particular, a los Doctores Armando Shimada, Gerardo Llamas, Marcelino Menéndez y Arturo Castellanos, al MVZ. Rómulo Amaro y a los M.C. Othon Reynoso, Leonel Martínez y Guillermo Martínez.
- A la Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán, por impartir los cursos y proporcionarme alojamiento, en especial al Dr. Marcelino Menéndez (Q.E.P.D.), por contribuir con todo su esfuerzo en la coordinación de las Maestrías de Reproducción y Nutrición Animal.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por otorgarme el apoyo económico para efectuar los cursos.
- Al Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, por su gran contribución en diversos aspectos relacionados con la realización de los estudios de Maestría y la realización de las tesis de grado, en particular a los Doctores Armando Shimada y José A. Cuarón y al M.C. Emigdio Santiago.
- A los Profesores-Investigadores que impartieron los cursos: M.C. Myriam Leal, Dr. Gerardo Llamas, M.C. Feliciano Millian, Dr. Jorge Cantó, M.C. Juan Becerra, Dra. Guadalupe Bernal, M.C. Araceli Aguilera, Q.F.B. Soledad

Marmolejo, Dr. Armando Shimada, Dr. José A. Cuarón, Dr. Juan de Dios Garza, M.C. Irma Tejada, M.C. Jesús Soriano, Dr. Ernesto Avila y M.C. Jaime Romero, por sus esfuerzos en compartir sus conocimientos y experiencia.

Al Dr. Gerardo Lamas, por su continuo y decidido apoyo durante la realización de los cursos y del trabajo de tesis, así como por brindarme su apreciable amistad.

A la Q.F.B. Soledad Marmolejo, por su esmerada y constante ayuda en el trabajo de laboratorio.

Al Honorable Jurado, Dr. Juan de Dios Garza, Dr. José Luis Romano, Dr. Moisés Montaña, Dr. Federico Rodríguez y Dr. Gerardo Llamas, por su dedicación y gran apoyo para la revisión y correcciones de la presente tesis.

Al MVZ. Rómulo Amaro y al M.C. Guillermo Martínez, por las facilidades otorgadas para la gestión de trámites.

A los Doctores Carlos Sosa y Felipe Ruiz, por las facilidades brindadas para el uso del equipo de cómputo.

A Toño, Fer, Sol, Richi, Marta, Ofe y Doña Coco, por la presta ayuda en todo momento y sobre todo por la profunda amistad que encontré en ustedes.

Al personal de apoyo del CENIFyMA, especialmente a Luis Enrique, Ariadna, Nora, Norma, Sonia y Doña Mary, por la ayuda y amistad brindadas.

CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN.....	ii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
CONTENIDO.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE GRAFICAS.....	ix
I INTRODUCCION.....	1
II REVISION DE LITERATURA.....	3
Tratamiento de pajas con hidróxido de sodio.....	4
Tratamiento de pajas con amoniaco.....	7
Tratamiento de pajas con peróxido de hidrógeno.....	9
Tratamientos Químico Biológicos.....	16
Consumo voluntario y digestibilidad de dietas a base de pajas.....	18
III HIPOTESIS GENERAL.....	22
IV OBJETIVO GENERAL.....	22
V MATERIAL Y METODOS.....	23
Experimento 1.....	24
Experimento 2.....	28
Experimento 3.....	30
Experimento 4.....	33
VI RESULTADOS Y DISCUSION	
Experimento 1.....	40
Experimento 2.....	62
Experimento 3.....	74
Experimento 4.....	83
VII DISCUSION GENERAL.....	102
VIII CONCLUSIONES.....	105
REFERENCIAS.....	109
APENDICE.....	120

INDICE DE CUADROS

	PAGINA
1 Composición de la mezcla mineral utilizada en el experimento 3.....	32
2 Composición de las dietas-tratamientos del experimento 4	34
3 pH y composición química del rastrojo de maíz en el experimento 1.....	41
4 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro en el experimento 1..	52
5 pH y composición química del rastrojo de maíz en el en el experimento 2.....	63
6 Cambio de pH a diferentes horas después de aplicar los agentes químicos en el experimento 2.....	65
7 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro en el experimento 2..	71
8 pH y composición química del rastrojo de maíz en el experimento 3.....	75
9 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro en el experimento 3..	81
10 Composición química de las dietas del experimento 4.....	84
11 Consumo de diversas fracciones de la dieta en el experimento 4.....	87
12 Digestibilidad aparente <i>in vivo</i> de diversas fracciones de la dieta en el experimento 4.....	93
13 Consumo de las fracciones digeribles en el experimento 4	96
14 Cambio de peso, ganancia diaria de peso, conversión y eficiencia alimenticia de los ovinos en el experimento 4	99

INDICE DE GRAFICAS.

	PAGINA
1 Interacción entre NH_3 y NaOH sin o con H_2O_2 , en el % de fibra detergente neutro (FDN) en el experimento 1.....	46
2 Interacción entre NH_3 y NaOH sin o con H_2O_2 , en la digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) en el experimento 1.....	53
3 Relación entre el % de fibra detergente neutro (FDN) y la digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) en el experimento 1.....	55
4 Interacción entre NH_3 y NaOH sin o con H_2O_2 , en la digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica (DIVMO) en el experimento 1.....	56
5 Interacción entre NH_3 y NaOH sin o con H_2O_2 , en la digestibilidad <i>in vitro</i> a 72 h de la fibra detergente neutro (DIVFDN) en el experimento 1.....	57

INTRODUCCION

Durante la producción de granos de cereales y de otros productos agrícolas para consumo humano, se produce colateralmente una cantidad considerable de pajas y de otros subproductos fibrosos. La cantidad de paja que se obtiene es semejante a la cantidad de grano producido, por lo que estos residuos agrícolas constituyen un recurso importante para la alimentación de rumiantes, principalmente en las épocas críticas de producción de forrajes o zacates nativos. Sin embargo, existen importantes restricciones asociadas con la utilización de los recursos fibrosos como alimento para rumiantes, entre las que se encuentran: bajo contenido de proteína cruda, baja densidad energética y bajo consumo voluntario (Jackson, 1977; Klopfenstein, 1978; Sundstøl y Owen, 1984; Dixon, 1986).

La producción de esquilmos agrícolas en México se estimó en 42 millones de toneladas de materia seca en 1982, y de esta cantidad, el rastrojo y el olate de maíz constituyeron el 55%. Esta cantidad se mantiene más o menos constante a través de los años, pues en 1985 se produjeron 24.2 millones de toneladas de rastrojo de maíz (RM) (Castañeda y Monroy, 1984; SARH, 1986). Sin embargo, aún en países desarrollados la proporción de esquilmos utilizados en la alimentación de rumiantes es muy reducida, siendo menor del 50% (Moss et al., 1993).

Para hacer más disponible la energía contenida en la fibra de los esquilmos, se han empleado varias técnicas ya sean tratamientos físicos, químicos, biológicos, o bien, la adición de suplementos concentrados a las dietas basadas en esquilmos. Sin embargo, el empleo de estos métodos no se ha popularizado debido, entre otros factores, al costo que representa el tratamiento y a que en ocasiones la respuesta no justifica el esfuerzo realizado (Jackson, 1977; Klopfenstein, 1978; Sundstøl, 1984). Se ha señalado (Shimada, 1987) que debe seguir siendo de interés la búsqueda de métodos químico-biológicos que permitan lograr un aprovechamiento más eficiente de los materiales fibrosos por parte de los rumiantes. Por lo tanto, es necesario obtener un método de tratamiento químico que resulte en una mejora substancial en el valor nutritivo del esquilmo, que su forma de aplicación sea práctica y que el proceso sea rentable, para que el empleo del método sea atractivo. Respecto a los tratamientos químicos, se ha reportado (Kerley et al., 1986; Kerley et al., 1987; Kerley et al., 1988) que la aplicación de peróxido de hidrógeno mejora la composición química y la digestibilidad de la paja. En cuanto a los tratamientos biológicos, la adición de medios de enriquecimiento ha presentado resultados satisfactorios (Hernández, 1992; Marcoff, 1992). Considerando lo anterior, se planteó éste estudio para evaluar los efectos de la aplicación de álcalis en combinación con peróxido de hidrógeno y la adición de medios de enriquecimiento al RM, en los cambios en la composición química y digestibilidad.

REVISION DE LITERATURA

Uno de los problemas asociados con la utilización de los esquilmos agrícolas como alimento para rumiantes, es que al momento de la cosecha del grano la planta se encuentra ya madura y contiene una elevada cantidad de paredes celulares, las cuales están altamente lignificadas y en consecuencia la digestibilidad del residuo aunque es variable, generalmente es menor de 50% (Klopfenstein, 1978).

Dewey (1989) menciona diferentes procesos para mejorar el valor nutritivo de los forrajes celulósicos, pudiendo clasificar a los tratamientos en: Físicos, químicos y biológicos. Entre los primeros, se encuentran el molido, la aplicación de vapor a presión, la presión-explósión y la irradiación. Los tratamientos químicos, incluyen álcalis, ácidos o agentes oxidantes. Los productos alcalinos que se han empleado rutinariamente para efectuar tratamientos a las pajas o rastrojos, son: hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), hidróxido de potasio (KOH), hidróxido de amonio ($\text{NH}_4\text{-OH}$) amoníaco (NH_3) y cenizas de madera. Los productos ácidos y oxidantes se han empleado en menor proporción y entre los primeros se encuentran el ácido clorhídrico (HCl) y el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y a los segundos corresponden el dióxido de azufre (SO_2), ozono (O_3), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), hipoclorito de sodio (NaClO) y cloruro de litio (LiCl). Entre los materiales a los que se han aplicado

tratamientos con estos productos, se encuentran el olote y tallos de maíz, pajas de: trigo, cebada, avena, arroz, sorgo, algunos zacates y subproductos agroindustriales (Goering, 1973; Ford, 1978; citados por Dennis, 1990; Jackson, 1977; Klopfenstein, 1978; Morris y Mowat, 1980; Sundstøl, 1984; Wanapat et al., 1985; Shimada, 1987; Leal, 1989; N'gambi y Campling, 1991; Castro et al., 1993). A los tratamientos biológicos corresponden la fermentación en estado sólido y los tratamientos enzimáticos (Dewey, 1989). Con los tratamientos biológicos, se trata de aumentar la digestibilidad de la paja cultivando en ésta tipos específicos de hongos (Jackson, 1978).

Los aspectos que resultan más favorecidos con la aplicación de cualquiera de los tratamientos señalados, son el consumo de alimento y la digestibilidad; sin embargo, existe una gran variación en la respuesta a cada tratamiento, debido principalmente al tipo y procedencia del material, así como a la especie animal (Jackson, 1978; Dewey, 1989).

TRATAMIENTO DE PAJAS CON HIDROXIDO DE SODIO.

Church (1988) menciona que desde el año 1900 se preparaba "forraje de celulosa", hirviendo la paja de arroz en una solución que contenía NaOH y otras sales alcalinas, y Homb (1984) precisa que en Alemania, Henneberg y colaboradores y Kellner y Köhler iniciaron en 1890 trabajos que involucraban hervir pajas bajo presión, con la finalidad de incrementar el

valor nutritivo de éstas. Desde entonces, se han empleado variados métodos para aplicar el NaOH a las pajas, entre los que se encuentran: Métodos de ebullición y de ebullición bajo presión, método húmedo de Beckmann, Beckmann modificado (método de Torgrimsby), método de sistema cerrado, método sumergido, método circulante y método seco (Homb, 1984; Dennis, 1990). El método de Beckman resulta en un material con aproximadamente 70% de digestibilidad, sin embargo, representa un costo elevado y ocurren pérdidas de alrededor del 25% de la materia seca (MS), debidas al lavado del material. Wilson y Pigden (1964) introdujeron un método más sencillo y de menor costo que el método húmedo de Beckman, el cual consiste en asperjar la solución de NaOH sobre la paja seca; el material tratado se administra a los animales sin ser lavado (Jackson, 1977).

Cada uno de éstos métodos tiene o tuvo sus ventajas y desventajas, sin embargo, conservan el mismo principio. El NaOH tiene varios efectos sobre los carbohidratos estructurales de la pared celular de las plantas; primero ocurre una solubilización de la hemicelulosa y el NaOH saponifica las uniones éster de los ácidos urónicos y los grupos acetyl asociados con la xilosa y los complejos hemicelulosa-lignina. Posteriormente, el NaOH rompe los puentes de hidrógeno en la celulosa cristalina, provocando que ésta se expanda y se haga más accesible a las enzimas celulolíticas, lo cual resulta finalmente en una mayor digestibilidad del material tratado (Jackson, 1977; Van Soest et al., 1984).

La magnitud del incremento en la digestibilidad, depende de la cantidad de NaOH empleado y de la temperatura y tiempo permitido para la reacción, por lo que los resultados son muy variables. Han y Garret (1986) (citados por Ng'ambi y Campling, 1991) al revisar estudios de tratamientos de pajas con NaOH, indican que el consumo de alimento cambió en promedio +37% debido al tratamiento con NaOH pero el rango fue de -21 a +187%. De manera similar, el aumento en la digestibilidad fue en promedio de 38%, con un rango de 0 a 238%. Entre las causas de ésta variación pueden encontrarse el tipo de paja y la fuente y cantidad de suplementos ofrecidos al animal, ya que en el estudio de N'gambi y Campling (1991), la respuesta al tratamiento con NaOH varió marcadamente entre pajas de trigo, avena o cebada y estuvo influenciada por la cantidad de energía y de nitrógeno suplementarios.

Recientemente, Moss et al. (1993) compararon cinco sistemas comerciales de tratamiento de paja de trigo con NaOH en la eficiencia del proceso y los efectos en la composición química, digestibilidad y valor energético *in vivo* de la paja. La dosis de NaOH fue igual en todos los sistemas, utilizando 140 l de una solución al 32% (peso/volumen) de NaOH ton^{-1} de paja tratada. Los sistemas fueron de tipo industrial con diferente maquinaria y diferente presentación de la paja. Sin importar el sistema empleado, el NaOH disminuyó el contenido de hemicelulosa y el de energía bruta, e incrementó la digestibilidad *in vivo* de la MO y la energía metabolizable

(EM); aunque existió variación entre los sistemas y recomiendan dos de éstos en función de la mejor tasa de aplicación de NaOH: La máquina JF2000 y el sistema de cosechadora-carro mezclador.

TRATAMIENTO DE PAJAS CON AMONIACO.

Existe un gran número de estudios referentes a este tipo de tratamiento, los cuales han involucrado diversos procedimientos en cuanto al producto precursor de NH_3 (Kiangi et al., 1981; Wanapat et al., 1985; Kraiem et al., 1991), nivel de álcali empleado y contenido de humedad del material a tratar (Llamas, 1981; Borhami y Sundstøl, 1982; Rodriguez et al., 1985; Aguilera et al., 1990), diferentes temperaturas o presión (Oji y Mowat, 1978; Llamas y Combs, 1990), variados materiales, diferentes especies de rumiantes y diversos criterios de respuesta (Jackson, 1977; Klopfenstein, 1978; Sundstøl et al., 1978 y Sundstøl, 1984).

Wang et al. (1964) (citados por Saenger et al., 1982), demostraron que el NH_3 rompe los enlaces que mantienen unidos los constituyentes de la pared celular, lo cual provoca que la fibra se expanda y sea más flexible. Van Soest et al. (1984) señalan que los tratamientos con NaOH y NH_3 no difieren en sus efectos básicos sobre las paredes celulares de las gramíneas. La hidrólisis (NaOH) y la amoniólisis (NH_3) de los enlaces éster que existen entre las cadenas de hemicelulosa-xilosa y los polímeros de lignina, provoca la formación de grupos

carboxil y grupos amida (ambos ionizados), respectivamente, (Tarkov y Feist, 1969; citados por Saenger et al., 1982).

Las ventajas del tratamiento con NH_3 son principalmente la simplicidad del método, el incremento en el contenido de nitrógeno del esquilmo, aumento en la digestibilidad de la MS o materia orgánica (MO), e incremento en el consumo de la paja tratada. Como desventaja, se puede considerar que se obtiene un producto de baja densidad energética y se vierte amoniaco al medio ambiente (Sundstøl, 1984). La fijación de nitrógeno a la paja tratada es variable y Chomyszyn y Ziologica (1972), citados por Kraiem et al. (1991), señalan que esta fijación sucede especialmente en las pectinas. En cuanto a la liberación o solubilización de los compuestos fenólicos de la pared celular de las pajas tratadas con álcalis, Kondo et al. (1992) mencionan que dicha liberación puede ser la causante del incremento en la digestibilidad y apuntan que ocurre solubilización en la fracción de lignina a nivel de los enlaces éter-ácido ferúlico y liberación de lignina debido al tratamiento con NH_3 .

En México, Aguilera (1988) y Aguilera et al. (1990; 1991) efectuaron estudios empleando RM como material y evaluaron el efecto de la amoniatización a éste, sobre su digestibilidad *in vivo*, desaparición *in situ* y la cinética ruminal en ovinos. Aguilera (1988) reporta que el contenido de proteína cruda (PC) se incrementó en 133% cuando el RM fue amoniatizado (de 5.5 a

12.8%). Por su parte, Jiménez y Shimada (1983) observaron incrementos ligeramente superiores (148%) en el contenido de PC del RM cuando fue tratado con NH_3 , de 5.2 a 12.9%. En lo que se refiere al contenido de fibra detergente neutro (FDN), del RM sin tratar y tratado con NH_3 , éste fue de 78.5 y 63.1% respectivamente, siendo estadísticamente diferentes (Aguilera 1988). Los valores de FDN encontrados por Jiménez y Shimada (1983) fueron de 79.9 y 56.3% para el RM sin tratar y tratado con NH_3 , respectivamente.

La eficiencia de la utilización de la energía de la paja amoniatizada consumida por rumiantes ha sido evaluada por Birkelo et al. (1986), encontrando que la pérdida de energía fecal y urinaria disminuyó en los animales alimentados con paja tratada con NH_3 , no existiendo diferencia en la pérdida de energía por metano. Respecto a la EM, la eficiencia de utilización de ésta también se mejoró por la amoniatización; 42.5 y 50.0% (como % de la energía bruta consumida), para la paja sin tratar y tratada con NH_3 y el balance energético fue de -30.7 y -6.7 Kcal/kg^{0.75}, respectivamente.

TRATAMIENTO DE PAJAS CON PEROXIDO DE HIDROGENO.

A partir de 1984, el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) ha sido utilizado experimentalmente con mayor frecuencia. Gould (1984) desarrolló un procedimiento para deslignificar materiales lignocelulósicos con una solución de H_2O_2 a un pH de 11.5 (H_2O_2 -

alcalino). Este tratamiento redujo en 50% el contenido de lignina y aparentemente rompió la estructura de los polímeros de celulosa (Gould, 1985). Chandra y Jackson (1977) (citados por Jackson, 1977) encontraron que el H_2O_2 incrementó la degradabilidad *in situ* de la MS, pero no presentaron la magnitud de tal incremento. Klopfenstein et al. (1972) realizaron un estudio en el que emplearon NaOH al 4%, peróxido de sodio (Na_2O_2) al 4%, ó Na_2O_2 al 4% más H_2O_2 al 3%, para tratar químicamente tallos de alfalfa y olote de maíz. Estos últimos autores no encontraron diferencias debidas al producto empleado, en la digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) del olote de maíz, siendo de 70.2, 70.9 y 71.1% para NaOH, Na_2O_2 y $Na_2O_2 + H_2O_2$, respectivamente. La DIVMS del olote de maíz sin tratar fue de 56.1%.

Se ha propuesto (Gould, 1984) que el mecanismo por el cual el H_2O_2 afecta la matriz de la pared celular de las plantas, es similar al de las enzimas oxidantes que producen los hongos que degradan la lignina en condiciones naturales. Los microorganismos que más rápidamente degradan la lignina son los hongos de la pudrición blanca *Phanerochaete chrysosporium*, los que despolimerizan la lignina utilizando principalmente lignina-peroxidasa. Estas enzimas actúan por simple oxidación electrónica generando radicales catiónicos en la lignina, los cuales promueven el rompimiento del polímero (Paterson, 1989). El tratamiento con H_2O_2 deslignifica parcialmente los lignopolisacáridos de la pared celular, solubiliza la

hemicelulosa y promueve la hidratación de la celulosa, incrementando así su disponibilidad para la fermentación ruminal. Las soluciones alcalinas de H_2O_2 reaccionan rápidamente con la lignina y compuestos similares, para formar productos solubles y de bajo peso molecular. Esta reacción es fuertemente dependiente del pH, con un óptimo de 11.5 - 11.6 (Gould, 1984; Lewis et al., 1987a).

Al evaluar el efecto del tratamiento con H_2O_2 -alcalino sobre la digestibilidad aparente *in vivo* de los carbohidratos estructurales de la paja de trigo, Kerley et al. (1987) observaron que la digestibilidad de la FDN fue de 43.5 y 83%; la digestibilidad de la fibra detergente ácido (FDA) de 44.1 y 75.8% y la de la celulosa de 47.9 y 87.3% para la paja testigo y la paja tratada, respectivamente. Estos valores corresponden a una dieta en que la paja de trigo constituía el 70%. Cuando la paja se incluyó a un nivel de 33% los incrementos fueron ligeramente superiores. Estos autores concluyen que los ovinos pueden utilizar dietas altas en paja tratada con H_2O_2 -alcalino y digerirlas en grado similar a dietas altas en concentrado, aunque esto había sido ya señalado por Kerley et al. (1986).

Los incrementos en la digestibilidad de la paja de trigo observados en el estudio mencionado en el párrafo anterior, se atribuyen al aumento de la susceptibilidad en los carbohidratos estructurales de la paja de trigo a la fermentación ruminal después del tratamiento con H_2O_2 -alcalino, indicando con esto

que la fracción de la lignina que inhibe la hidrólisis bacteriana de la matriz polisacárida de la pared celular, se modifica significativamente por el tratamiento con H_2O_2 -alcalino (Kerley et al., 1987).

Por otra parte, también se ha hipotetizado que los cambios estructurales y de composición que ocurren en la paja tratada con H_2O_2 -alcalino, son el resultado de la disminución en la cristalinidad de la celulosa y de la remoción de los monómeros fenólicos de la matriz de la pared celular (Gould, 1985). Teóricamente, la reducción en la cristalinidad de la celulosa resultaría en un incremento en su degradación por parte de los microorganismos (Rowland, 1975; Fan et al., 1980; citados por Kerley et al., 1988). Sin embargo, éstos últimos autores encontraron que los patrones de cristalinidad de la celulosa obtenidos por difracción de rayos X, fueron similares para la fibra de algodón sin tratar y tratada con NaOH y H_2O_2 -alcalino, así como para la paja de trigo sin tratar y tratada con H_2O_2 -alcalino; siendo a su vez menos cristalina la celulosa de la paja de trigo que la de la fibra de algodón. Con base en estos resultados, Kerley et al. (1988) sugieren que el incremento en la degradación microbiana de los carbohidratos estructurales de la paja tratada con H_2O_2 -alcalino, debe ser provocado por mecanismos diferentes al de la destrucción del arreglo de la celulosa en las microfibrillas y estos últimos autores suponen que el H_2O_2 -alcalino rompe los enlaces entre el ácido p-cumárico, el ácido ferúlico, y el núcleo de lignina en la pared

celular, y dentro del núcleo mismo de lignina; pudiendo incrementar de esta manera el espacio de accesibilidad a las enzimas celolíticas.

En los estudios de Kerley et al. (1986; 1987; 1988), el tratamiento con H_2O_2 -alcalino consistió en sumergir 91 kg de paja en un recipiente de acero inoxidable conteniendo una solución de 2274 l de agua, 68.2 l de H_2O_2 al 35%, y 32.2 l de NaOH al 50% (éste último para tener un pH de 11.5). La paja se mantenía sumergida durante toda la noche a una temperatura de 24°C y posteriormente era escurrida, secada e incorporada a las dietas (método de remojo). Sin embargo, éste procedimiento tiene la desventaja de que ocurre una pérdida considerable de la MS y de algunos de sus constituyentes, como la MO, PC y componentes de la pared celular. Esto ya había sido señalado por Gould (1984), y posteriormente fue ratificado por Amjed et al. (1992), quienes reportan pérdidas de 31 a 45% en la MO, de 80 a 93% en la PC y de 21 hasta 60% en los constituyentes de la pared celular del bagazo y bagacillo de caña y de la paja de trigo, ocurriendo las mayores pérdidas en ésta última. Amjed et al. (1992) mencionan que éstas pérdidas se han eliminado por medio de una modificación al método de remojo, la cual consiste en reducir el volumen de solución y asperjar directamente el H_2O_2 a la paja (método de aspersión). Esta modificación resulta en la retención de la PC y de los polisacáridos fermentables de la pared celular.

Aunque Kerley et al. (1986) señalan que la paja de trigo tratada con H_2O_2 -alcalino es una fuente de energía fácilmente digestible en dietas para rumiantes, constituye sin embargo una fuente pobre de nitrógeno, calcio y fósforo, cuando se usa como forraje único (Cecava et al., 1990; Atwell et al., 1991). Como se mencionó anteriormente, una porción de todos los componentes químicos (principalmente los componentes celulares solubles y la lignina) de las pajas tratadas con H_2O_2 -alcalino se pierde durante el tratamiento y subsecuente lavado, por lo que el resultado es un producto casi exento de proteína y enriquecido en una FDN menos lignificada (Amjed et al., 1992). Tomando esto en cuenta, Bas et al. (1989) discuten la necesidad de suplementar las pajas tratadas con H_2O_2 -alcalino, con fuentes apropiadas de proteína, tanto por la baja concentración, como por la baja digestibilidad de dicha proteína.

Cuando se comparó la degradabilidad potencial de la MS de la paja de cebada sin amoniatizar o amoniatizada, y tratada posteriormente con H_2O_2 , NaOH ó H_2O_2 -alcalino, se encontró que la degradabilidad potencial de la MS fue de 66.6, 68.0, 67.2 y 86.3% para la paja no amoniatizada, y tratada con H_2O_2 , NaOH y H_2O_2 -alcalino, respectivamente. Cuando la paja fue amoniatizada, y tratada con H_2O_2 , NaOH o H_2O_2 -alcalino, la degradabilidad potencial de la MS fue de 79.7%, 79.1, 80.1 y 90.2% (Bhargava et al., 1989). Sin embargo, estos autores no presentan el cambio en el contenido de nitrógeno que probablemente ocurrió cuando la paja fue amoniatizada. Bhargava

et al. (1989) mencionan que si fuese posible desarrollar una tecnología práctica y costeable a nivel de campo para usar el H_2O_2 -alcalino, éste podría ser una alternativa a los tratamientos químicos de las pajas, debido a que es un producto inocuo cuyo producto final de la reacción es agua.

Adebowale et al. (1989) compararon el efecto de la concentración de H_2O_2 -alcalino y el tratamiento subsecuente con NH_3 , en la degradabilidad de la paja de trigo, rastrojo y olote de maíz, y encontraron que tanto el tratamiento con NH_3 como el aumento en la concentración de H_2O_2 , incrementaron la degradabilidad de la MS para los tres materiales estudiados. La mejor respuesta se observó en el RM, siendo intermedia para la paja de trigo e inferior para el olote de maíz. La degradabilidad del RM fue de 677, 741, 760, 794 y 815 g kg^{-1} de MS cuando no fue tratado, tratado con NH_3 , y tratado con NH_3 + 1.0, 5.0 ó 10.0% de H_2O_2 , respectivamente. El contenido de nitrógeno del RM sin amoniatizar y amoniatizado fue 9.9 y 20.4 g kg^{-1} de MS, respectivamente. El procedimiento que usaron Adebowale et al. (1989) para aplicar los tratamientos químicos, consistió en asperjar la solución de H_2O_2 sobre la paja y posteriormente esta fue amoniatizada.

Con la finalidad de incrementar el contenido de nitrógeno de dietas basadas en paja de trigo tratada con H_2O_2 -alcalino, Atwell et al. (1991) usaron cinco combinaciones de paja de trigo y heno de alfalfa en dietas para ovinos, con una relación

fornaje concentrado de 80:20. Estos autores no encontraron diferencias significativas en el consumo y en la digestibilidad aparente de las diferentes dietas empleadas; el consumo y la digestibilidad aparente de la MS de la dieta con una proporción 80:0 de paja de trigo tratada con H_2O_2 -alcalino:heno de alfalfa, fueron de 2501 g día^{-1} y 67.2%, respectivamente. Con la dieta inversa (0:80), el consumo y la digestibilidad aparente de la MS fueron de 2614 g día^{-1} y 67.4%, por lo que estos autores concluyen que sus resultados demuestran la efectividad del tratamiento con H_2O_2 -alcalino para incrementar el valor nutritivo de la paja de trigo.

TRATAMIENTOS QUIMICO-BIOLÓGICOS.

Considerando que los efectos particulares y/o de sinergismo de los tratamientos químicos con NaOH, NH_3 y H_2O_2 a las pajas, resultan en mayor disponibilidad de carbohidratos para la fermentación ruminal, estos carbohidratos solubilizados pueden también ser utilizados por microorganismos a través de procesos de fermentación en estado sólido, para transformar parcialmente los compuestos solubilizados en proteína verdadera (PV). Este proceso implica la adición de substratos como la urea, melaza y minerales, los cuales aportan nutrimentos para que los microorganismos puedan desarrollarse y transformar los compuestos solubles en PV, la cual a su vez, será utilizada posteriormente por el animal. Este proceso se aplica ya a la caña de azúcar o al bagacillo de caña, obteniendo un producto

denominado "Saccharina", la cual contiene de 12 a 14% de PC (la caña fresca contiene en promedio 4.3%). Para la elaboración de este producto, se emplean los propios microorganismos presentes en la caña; los cuales son principalmente levaduras. La fermentación ocurre en un periodo de 12 a 16 h y con este proceso de fermentación aeróbica se logra que los microorganismos utilicen la urea, los minerales y parte de los azúcares de la caña como fuente energética; incrementando de ésta manera el contenido de PV del producto tratado (Eliás et al., 1990; Hernández, 1992; Marcoff, 1992).

Las levaduras son hongos unicelulares que han sido históricamente reconocidos por su capacidad fermentativa. De las 41 especies que pertenecen a este género, solamente *Saccharomyces cerevisiae* y las especies relacionadas con *S. uvarum* se utilizan en la industria. *S. cerevisiae* es un organismo oval o redondo que se reproduce por germinación y tiene la habilidad de captar y fermentar un gran número de azúcares, entre los que se encuentran: Sacarosa, fructosa, maltosa y glucosa (Arias, 1992). Las levaduras crecen en medios con un rango de pH óptimo de 4.5 a 6.8, sin embargo, toleran un pH máximo de 11.1 (Smith, 1965; citado por Arias, 1992).

Uno de los objetivos de los tratamientos biológicos, es pre-degradar parte de los carbohidratos estructurales para hacerlos más susceptibles al ataque por las enzimas microbianas

en el rumen (Romero y Orcasberro, 1985), lo cual resultaría en un aumento de la digestibilidad del material tratado.

CONSUMO VOLUNTARIO Y DIGESTIBILIDAD DE DIETAS A BASE DE PAJAS.

La productividad de un animal en particular, alimentado con una dieta dada, depende en gran medida de la cantidad de alimento consumido, de la eficiencia de la digestión y de la eficiencia del metabolismo (Grofum, 1987). Los últimos tres indicadores varían considerablemente entre especies de rumiantes, debido a diferentes patrones de comportamiento en relación al consumo de alimento y a la eficiencia de utilización de éste. Domingue et al. (1991) refieren que estudios comparativos de la digestión en cabras y ovinos alimentados con forrajes de baja calidad, han mostrado que las cabras presentan un mayor consumo voluntario de MS ($\text{g kg}^{-0.75} \text{ día}^{-1}$) y digieren mejor los componentes fibrosos de la dieta que los ovinos. Estos últimos autores concluyen que en las cabras ocurre una mayor concentración ruminal de NH_3 que en los ovinos, lo que parece ser un factor importante para que las cabras presenten una mayor digestión y mayor consumo voluntario de dietas a base de zacates nativos. Además, los ovinos seleccionaron una dieta más baja en fibra y más alta en nitrógeno en comparación con las cabras, no presentándose en éstas evidencia de selección bajo las condiciones en que se realizó ese estudio (Domingue et al., 1991).

El consumo de alimento depende tanto de factores relacionados con el animal, como de factores relacionados con el alimento. Al respecto, Bhargava et al. (1988) al estudiar la distribución, composición química y degradabilidad de los componentes morfológicos de la paja de cebada entera y el grado al que los ovinos pudieran seleccionar los mejores componentes con diferentes cantidades de paja, encontraron que la proporción de MS consumida y digerida procedente de las hojas de la paja se incrementó y la de los tallos disminuyó (ambas en forma lineal), a medida que la disponibilidad de paja aumentó. Los ovinos mostraron la habilidad de seleccionar las hojas y rechazar los tallos y esto promovió que consumieran una dieta de mejor calidad que la ofrecida.

Tamminga y Van Vuuren (1988) mencionan que si la demanda de nutrimentos es elevada o la densidad nutritiva de la dieta es baja, el principal factor que controla el máximo consumo de alimentos en ruminantes es la capacidad del retículo-rumen. Esta capacidad está controlada por el llenado ruminal, en el cual intervienen a su vez, la tasa de reducción de la partícula, la tasa de degradación, la tasa de flujo de sólidos y la tasa de remoción de los productos solubles finales de la fermentación. Estos factores son indicativos de que en los ruminantes, existe un complicado sistema digestivo para llevar a cabo la utilización de los componentes fibrosos, el cual involucra variables tanto relacionadas con el animal hospedador, como

variables relacionadas con los microorganismos ruminales (Mertens, 1977). Este último autor describe que la digestión ruminal puede dividirse en cuatro componentes: Tasa de digestión, retraso de la digestión (tiempo lag), extensión potencial de la digestión y tasa de pasaje. Cada uno de estos componentes afecta de diferente manera la extensión aparente de la digestión.

La tasa de digestión, se refiere a la cantidad de alimento que puede ser digerido por unidad de tiempo (Van Soest, 1983). La fase lag de la digestión, puede definirse como el periodo de fermentación inicial en el que no ocurre aún digestión u ocurre en una mínima tasa (Mertens, 1977). La tasa de pasaje, puede considerarse como la cantidad de material que sale del rumen por unidad de tiempo. Dicho material, puede referirse a la fase líquida o a la fase sólida del rumen y puede considerarse al material tanto digerido, como al indigestible. La contraparte de la tasa de pasaje, la constituye el tiempo de permanencia o tiempo de retención en el rumen (Mertens, 1977; Van Soest, 1983; Owens y Goetsch, 1984).

En cuanto a la digestibilidad de las pajas en su forma natural, se sabe que ésta es negativamente afectada por la gran proporción de paredes celulares. De los constituyentes químicos de la pared celular, la lignina es la que mayor efecto adverso ejerce sobre la digestibilidad, ya que los enlaces éter del ácido ferúlico pueden interferir con la degradación enzimática

ruminal de los polisacáridos de la pared celular (Jung y Fahey, 1983; Jung y Voguel, 1986; Kondo et al., 1992). Por su parte, Smith et al. (1972); citados por Mertens (1977) sugieren que la contribución negativa de la lignina en la digestibilidad, estriba en limitar la extensión potencial de la digestión.

HIPOTESIS GENERAL

La aplicación de hidróxido de sodio, amoníaco, peróxido de hidrógeno y/o la adición de medios para el enriquecimiento biológico, como tratamientos únicos o combinados, al rastrojo de maíz, provoca cambios positivos en su composición química, digestibilidad *in vitro* y valor nutritivo.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos de la aplicación de hidróxido de sodio y amoníaco, solos o en combinación con peróxido de hidrógeno, y de la adición de medios para el enriquecimiento biológico al rastrojo de maíz, en los cambios en la composición química, digestibilidad *in vitro* y valor nutritivo (consumo voluntario y digestibilidad aparente), cuando se emplea como forraje base en dietas para ovinos.

MATERIAL Y METODOS

Para cumplir con el objetivo general del presente estudio, se plantearon cuatro experimentos. Los experimentos 1, 2 y 3, así como los análisis químicos de los cuatro experimentos, se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal del Centro Nacional de Investigaciones en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENIFyMA), localizado en Ajuchitlán, Qro. La fase de campo del experimento cuatro se realizó en el Campo Experimental "El Verdineño", ubicado en Sauta, Municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, entre los 21° 33' de latitud norte y los 105° 11' de longitud oeste y a una altitud de 50 msnm. El clima de ésta región es de tipo cálido subhúmedo Aw2 (García 1973), con precipitación media anual de 1200 mm y temperatura media anual de 24°C. Ambos centros dependen del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (INIFAP-SAGAR). La determinación de cromo se llevó a cabo en el laboratorio del Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental (C.E.A.C.A.) de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Querétaro.

EXPERIMENTO 1.

CAMBIOS EN LA COMPOSICION QUIMICA DEL RASTROJO DE MAIZ DESPUES DE LA APLICACION DE ALCALIS Y PEROXIDO DE HIDROGENO.

OBJETIVO:

Determinar el efecto de la aplicación de NaOH y NH_3 , solos o en combinación con H_2O_2 , en la composición química y la digestibilidad *in vitro* de la MS, MO y FDN del rastrojo de maíz.

Los tratamientos (T) experimentales fueron:

- T 1 RM Testigo
- T 2 RM tratado con 3.5% de NH_3
- T 3 RM tratado con 3.5% de NH_3 + 2.0% de H_2O_2
- T 4 RM tratado con 5.0% NaOH
- T 5 RM tratado con 5.0% de NaOH + 2.0% de H_2O_2

La unidad experimental consistió en 200 g en base seca (BS) de rastrojo de maíz (RM) molido, contenidos en doble bolsa de polietileno. Al RM testigo únicamente se le adicionó agua (80 ml 200 g^{-1} de RM). Las dosis de los agentes químicos fueron: NH_3 , 3.5%; NaOH, 5.0% y H_2O_2 , 2.0% en relación a la MS del RM. La aplicación de NH_3 se realizó empleando $\text{NH}_4\text{-OH}$ como fuente de NH_3 , usando 52.5 ml de solución de $\text{NH}_4\text{-OH}$ 200 g^{-1} de RM. La

solución de $\text{NH}_4\text{-OH}$ tenía una concentración de 28% y una densidad de 0.98 g kg^{-1} . La aplicación de NaOH se efectuó usando 10 g de este álcali diluidos en 20 ml de agua 200 g^{-1} de RM. El H_2O_2 se aplicó usando 12.0 ml de una solución de H_2O_2 al 30% que se diluyó en 60 ml de agua 200 g^{-1} de RM. La solución de H_2O_2 al 30% tenía una densidad de 1.11 g ml^{-1} . El $\text{NH}_4\text{-OH}$ se aplicó vertiendo la solución directamente sobre el RM. El NaOH y el H_2O_2 se aplicaron mediante aspersión. El orden de aplicación de los agentes químicos para el T3 fue: primero el $\text{NH}_4\text{-OH}$ y enseguida el H_2O_2 y para el T5, primero el NaOH y después el H_2O_2 . Después de aplicar los agentes químicos, se cerró la bolsa conteniendo el RM tratado y permaneció así por un periodo de cuatro días; transcurrido éste lapso se abrió la bolsa, se homogeneizó su contenido y se tomaron las muestras para los análisis correspondientes.

Las variables de respuesta para evaluar el efecto de los tratamientos en los cambios en la composición química del RM, fueron: humedad, MS, cenizas, MO, PC, FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina. Además se determinó: pH inicial; inmediatamente después de aplicar los agentes químicos, pH final; después del periodo de reacción, digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) y de la MO (DIVMO) a 48 h, Digestibilidad *in vitro* de la FDN (DIVFDN) a las 0, 12, 24, 48 y 72 h, tiempo lag y tasa de digestión *in vitro*.

La humedad, MS, cenizas, MO y PC, se determinaron de acuerdo a las técnicas establecidas por la A.O.A.C. (1980). La FDN, FDA y lignina se determinaron con base en la metodología recomendada por Goering y Van Soest (1970). La hemicelulosa se calculó como la diferencia entre FDN y FDA y la celulosa como FDA menos la lignina (Goering y Van Soest, 1970). El pH se determinó utilizando un potenciómetro Conductronic pH 20. La digestibilidad *in vitro* de la MS, MO y FDN, se realizó de acuerdo a la técnica de Tilley y Terry (1963), modificada por Minson y McLeod (1972). El inóculo ruminal se obtuvo de una vaca adulta provista de cánula ruminal permanente. La dieta de la vaca donadora consistió en forraje fresco de alfalfa. Todas las muestras se trabajaron por duplicado. La tasa de digestión se calculó con base en el modelo que describen Mertens y Loften (1980), que considera la presencia de un tiempo lag (o de retraso) y una fracción de material indigestible, que en este caso correspondió a la fracción residual después de las 72 h de digestión. El valor resultante de deducir la FDN residual a 12, 24 y 48 h, de la FDN residual a 72 h, se transformó a logaritmo natural. La tasa de digestión correspondió a la pendiente de la línea de regresión entre el tiempo (12, 24 y 48 h) y el logaritmo natural de la FDN residual potencialmente digestible (Apéndice I).

Los valores de humedad y MS se transformaron a porcentaje, como fracciones del RM en su forma original. Los valores de las cenizas, MO, PC, FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina se

transformaron a porcentaje, como fracciones de la MS del RM. Los valores de pH corresponden a los obtenidos en el potenciómetro. Los valores de la DIVMS y de la DIVMO a 48 h se transformaron a porcentaje, como fracciones de la MS total y de la MO total. Los valores de tiempo lag se transformaron a horas y los valores de la tasa de digestión se transformaron a porcentaje h^{-1} .

El diseño experimental fue completamente al azar con cinco tratamientos y dos repeticiones por tratamiento. El análisis estadístico consistió en análisis de varianza y contrastes ortogonales (Steel y Torrie, 1988), siendo éstos: Contraste 1, testigo vs. resto; contraste 2, NH_3 vs. NaOH; contraste 3, con H_2O_2 vs. sin H_2O_2 , contraste 4, interacción entre NH_3 y NaOH, con o sin H_2O_2 . El análisis estadístico se efectuó con ayuda del paquete estadístico SAS (1985).

EXPERIMENTO 2.

NIVELES DE AMONIACO E HIDROXIDO DE SODIO CON ADICION DE PEROXIDO DE HIDROGENO, SOBRE LOS CAMBIOS EN LA COMPOSICION QUIMICA DEL RASTROJO DE MAIZ.

OBJETIVO:

Evaluar el efecto de dos niveles de NaOH y dos niveles de NH_3 en combinación con un nivel fijo de H_2O_2 , en el pH inicial y final, en los cambios en la composición química y en la digestibilidad *in vitro* de la MS, MO y FDN del rastrojo de maíz.

Los tratamientos y niveles de cada agente químico fueron:

- T 1 RM Testigo
- T 2 RM tratado con 1.75% NH_3 + 2.5% NaOH + 2.0% H_2O_2
- T 3 RM tratado con 3.5% NH_3 + 2.5% NaOH + 2.0% H_2O_2
- T 4 RM tratado con 1.75% NH_3 + 5.0% NaOH + 2.0% H_2O_2
- T 5 RM tratado con 3.5% NH_3 + 5.0% NaOH + 2.0% H_2O_2

La unidad experimental, la forma de aplicación de los agentes químicos, las variables de referencia, los análisis químicos y sus transformaciones, el diseño experimental y el análisis estadístico, fueron como se describió para el experimento 1, excepto que los contrastes ortogonales en éste caso fueron: Contraste 1, testigo vs. resto; contraste 2, nivel

de NH_3 ; contraste 3, nivel de NaOH ; contraste 4, interacción entre álcalis y niveles . Otra diferencia con el experimento 1, fue que en este caso no se le adicionó agua al RM testigo. El orden de aplicación de los agentes químicos fue: primero $\text{NH}_4\text{-OH}$, después NaOH y finalmente H_2O_2 .

EXPERIMENTO 3.

EFFECTO DE LA ADICION DE MEDIOS PARA EL ENRIQUECIMIENTO BIOLOGICO DEL RASTROJO DE MAIZ TRATADO QUIMICAMENTE, EN LA COMPOSICION QUIMICA Y DIGESTIBILIDAD *in vitro*.

OBJETIVO:

Conocer el efecto de la adición de levaduras, minerales, melaza y urea al rastrojo de maíz tratado previamente con NaOH, NH_3 y H_2O_2 , en la composición química y en la digestibilidad *in vitro* de la MS, MO y FDN.

Los tratamientos fueron:

T 1 RM Testigo

T 2 RM tratado con 3.5% NH_3 + 5.0% NaOH + 2.0% H_2O_2

T 3 Como T2 + Minerales + *Saccharomyces cerevisiae*

T 4 Como T3 + 5.0% de Melaza

T 5 Como T4 + 4.0% de Urea

La unidad experimental y el procedimiento para la aplicación de los agentes químicos, fueron como se describió para el experimento 1. Al RM testigo se le aplicaron 80 ml de agua. Transcurridas 24 h a partir de la aplicación de los agentes químicos, se abrieron las bolsas, se esparció el RM y se aplicaron los productos adicionales. Los minerales se adicionaron en dosis de 1.0 kg ton^{-1} de RM (0.2 g de minerales

200 g⁻¹ de RM). La composición de la mezcla mineral utilizada se presenta en el cuadro 1. Las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*), se adicionaron en dosis de 0.25 g kg⁻¹ de MS, considerando una concentración de 5×10^9 células por gramo del producto comercial (250 millones de células 200 g⁻¹ de RM). En el T3, los minerales y las levaduras se mezclaron y se vertieron en 33.6 ml de agua y ésta mezcla se asperjó sobre el RM. En el T4, la melaza se adicionó a una mezcla como la descrita para el T3. En el T5, la urea (previamente disuelta en agua) se adicionó a una mezcla como la descrita para el T4. Los aditivos mencionados se dejaron actuar sobre el RM durante 36 h; transcurrido este lapso, se tomaron las muestras para los análisis químicos correspondientes.

Además de las variables de referencia señaladas para los experimentos uno y dos, en este caso se determinó la proteína verdadera, usando el método de precipitación con sulfato de cobre (Tejada, 1992). El diseño experimental fue completamente al azar, el análisis estadístico consistió en análisis de varianza y la comparación de medias por el método de Duncan (Steel y Torrie, 1988).

CUADRO 1. COMPOSICION DE LA MEZCLA MINERAL UTILIZADA EN EL EXPERIMENTO 3.

Calcio	5.0	%
Sodio	13.0	%
Azufre	10.0	%
Cobalto	100	ppm
Cobre	8000	ppm
Iodo	400	ppm
Fierro	100000	ppm
Magnesio	40000	ppm
Selenio	100	ppm
Zinc	40000	ppm
c.b.p.	100.0	%

EXPERIMENTO 4.

CONSUMO VOLUNTARIO Y DIGESTIBILIDAD *in vivo* DE DIETAS CON BASE EN RASTROJO DE MAIZ TRATADO CON NaOH, NH₃ Y H₂O₂, EN DIFERENTES COMBINACIONES, OFRECIDAS A OVINOS.

OBJETIVO:

Registrar el consumo voluntario y estimar la digestibilidad aparente *in vivo* de la MS, MO y fracciones de fibra, de dietas con base en rastrojo de maíz, tratado con NaOH, NH₃ y H₂O₂ en diferentes combinaciones.

Se elaboraron cuatro dietas (Cuadro 2) en las que el RM constituyó la única fuente de forraje. Los tratamientos experimentales correspondieron a la forma en que se trató químicamente el RM que se incluyó en las dietas. Los tratamientos químicos fueron:

- T 1 RM Testigo
- T 2 RM tratado con 5.0% de NaOH + 2.0% de H₂O₂
- T 3 RM tratado con 3.5% de NH₃ + 5.0% de NaOH
- T 4 RM tratado con 3.5% de NH₃ + 5.0% de NaOH + 2.0% de H₂O₂

CUADRO 2. COMPOSICION DE LAS DIETAS-TRATAMIENTOS DEL EXPERIMENTO 4. (% en BS)

INGREDIENTE	TRATAMIENTOS			
	T 1	T 2	T 3	T 4
Rastrojo de Maiz	65.00	65.00	65.00	65.00
Sorgo grano	13.00	13.00	8.25	8.25
Harinolina	8.50	8.50	12.25	12.25
Harina de Pescado	4.00	4.00	5.00	5.00
Melaza	7.00	7.00	8.50	8.50
Urea	1.50	1.50		
Premezcla mineral*	1.00	1.00	1.00	1.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00

COMPOSICION CALCULADA

P.C. %	14.05	14.05	14.04	14.04
E.M. Mcal Kg	2.25	2.25	2.28	2.28

*) Compuesta por: Sal común 44.0%, roca fosfórica 53.0%, minerales traza 3.0%; Mn 100.0 g, Cu 10.0 g, I 0.3g, Ca 117.5 g, Fe 100.0 g, Co 0.1 g, Zn 100.0 g y vehículo c.b.p. 1000 g.

El tratamiento del RM con NH_3 en los T3 y T4 se realizó usando el método noruego (Sundstøl, 1978), para lo cual, se estibarón las pacas de RM (2.5 ton en BS), se cubrieron herméticamente con una sábana de plástico, se inyectó el NH_3 (en dosis de 35 Kg de NH_3 ton⁻¹ de RM en BS) y se dejó reaccionar durante tres semanas. Transcurrido este periodo, se retiró el plástico, se dejó airear durante cinco días el RM tratado, se molió, se le aplicó NaOH y H_2O_2 (solo en los tratamientos correspondientes) y se incorporó en las dietas. La aplicación de NaOH en los T2, T3 y T4 se realizó usando una solución de NaOH al 50%, la cual se diluyó en agua (vol/vol) y se aplicó por aspersión. La cantidad de solución de NaOH al 50% que se aplicó fue de 6.666 l (densidad = 1.5 kg l⁻¹) 100 kg⁻¹ BS de RM. La aplicación de H_2O_2 en los T2 y T4 se realizó usando

una solución de H₂O₂ al 50%, la cual se diluyó en agua en una proporción de 1:2 (solución de H₂O₂:agua) y se aplicó por aspersión. La cantidad de solución de H₂O₂ al 50% que se aplicó fue de 3.419 l (densidad 1.17 kg l⁻¹) 100 kg⁻¹ BS de RM. La aspersión del NaOH y del H₂O₂ se realizó usando una bomba manual. El rastrojo asperjado se dejó reaccionar por un periodo de 24 h y posteriormente se incorporó a las dietas. Las dietas se elaboraron a intervalos de una semana. El proceso de tratamientos químicos y elaboración de dietas se puede esquematizar de la siguiente manera:

	T 1	T 2	T 3	T 4
SECUENCIA DEL PROCESO	RM ☐	RM ☐	RM ☐	RM ☐
NH ₃			☐✓	☐✓
MOLIDO	☺✓	☺✓	☺✓	☺✓
NaOH		☼✓	☼✓	☼✓
H ₂ O ₂		☼✓		☼✓
REACCION		☼✓	☼✓	☼✓
MEZCLADO	☺✓	☺✓	☺✓	☺✓

Se utilizaron ocho ovinos Pelibuey machos en crecimiento, con un peso inicial promedio de 21.0 ± 0.9 kg. Los animales se alojaron individualmente en corraletas techadas parcialmente, con piso de cemento, comedero y bebedero. El alimento se ofreció en forma de dieta integral, a libertad y dos veces al día; 8:00 y 17:00 h. El ajuste de la cantidad a ofrecer se

realizó diariamente de acuerdo al rechazo del día anterior, el cual se permitió ser de aproximadamente 10%.

El diseño experimental fue de cuadrado latino 4 x 4, duplicado, en el que se consideraron dos cuadros con cuatro animales y cuatro periodos cada uno, resultando en ocho repeticiones por tratamiento (Steel y Torrie, 1988). Cada periodo comprendió 21 días, de los cuales los primeros 14 fueron para adaptación a las dietas y a la corraleta y en los últimos siete se realizó la medición del consumo de alimento y la toma de muestras de alimento ofrecido, alimento rechazado y heces, de acuerdo a la metodología señalada por Rodríguez y Llamas (1990).

Para estimar la digestibilidad aparente *in vivo* de las dietas se utilizó la técnica de colección parcial de heces, usando fibra amordantada con Cromo (FDN-Cr) como marcador externo. La FDN-Cr se administró durante diez días (tres días previos al muestreo y durante los siete días de muestreo) en una dosis única de 3 g animal⁻¹ día⁻¹. La FDN-Cr se colocó en el comedero y se verificó que los animales la consumieran en su totalidad, sucedido esto, se ofreció la dieta correspondiente a las 8:00 h. La FDN-Cr se preparó utilizando dicromato de sodio como fuente de cromo de acuerdo a la técnica descrita por Uden *et al.* (1980). La colección de heces se realizó dos veces al día (07:00 y 18:00 h) durante los últimos siete días de los diez en los que se administró el marcador (Colucci, 1984). Las

muestras de alimento ofrecido, alimento rechazado y heces, se conjuntaron por tratamiento y por periodo, se secaron en una estufa a 55° C y se conservaron hasta el momento de su análisis de laboratorio con base en la metodología recomendada (Tejada, 1992).

Al inicio y al final de cada periodo se registró el peso vivo de los animales, sin previo ayuno y a la misma hora en todas las ocasiones. Las variables de respuesta fueron:

- Consumo Voluntario de:

MS, MO, PC, FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa, lignina y energía metabolizable (EM).

- Coeficiente de digestibilidad aparente *in vivo* de las fracciones mencionadas, excepto lignina y EM.

El consumo de EM se calculó con base en la equivalencia que sugiere el ARC (1980), que indica que la EM contenida en 1 kg de MO digestible equivale a 15.56 Joules ó bien, a 3.72 Mcal.

Las determinaciones de laboratorio de las fracciones químicas en el alimento ofrecido, alimento rechazado y en las heces, se realizaron con base en las técnicas mencionadas para el experimento 1. La concentración de Cromo en la FDN-Cr y en las heces se determinó utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer, modelo 2380) a 357.9 nm de

longitud de onda, de acuerdo a la técnica de Fenton y Fenton (1979), descrita por Tejada (1992). El coeficiente de digestibilidad aparente *in vivo* de la MS y de otras fracciones de la dieta, se calculó con base en las fórmulas sugeridas por Merchen (1988):

$$CDAMS = 100 - \left(100 \frac{\% M \text{ en } A}{\% M \text{ en } H} \right)$$

$$CDAF = 100 - \left(100 \frac{\% M \text{ en } A}{\% M \text{ en } H} \times \frac{\% F \text{ en } H}{\% F \text{ en } A} \right)$$

Donde;

CDAMS = Coeficiente de digestibilidad aparente de la MS.

CDAF = Coeficiente de digestibilidad aparente de la Fracción x.

M = Marcador.

A = Alimento.

H = Heces.

F = Fracción x.

El análisis estadístico comprendió análisis de varianza de acuerdo al diseño experimental y comparación de medias por el método de Duncan (Steel y Torrie, 1988), utilizando el paquete estadístico SAS (1985). El modelo utilizado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + C_i + T_j + P_k + A_l(i) + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} : Variable de respuesta; Dependiente del l -ésimo animal,
 k -ésimo periodo, j -ésimo tratamiento e i -ésimo cuadro.

μ : es la media poblacional,

C_i : es el efecto del i -ésimo cuadro ($i=1,2$),

T_j : es el efecto del j -ésimo tratamiento ($j=1,2,3,4$),

P_k : es el efecto del k -ésimo periodo ($k=1,2,3,4$),

$A_l(i)$: es el efecto del l -ésimo animal (anidado en el i -ésimo
cuadro) ($l=1,2,3,4$),

ϵ_{ijkl} : es el error aleatorio.

RESULTADOS Y DISCUSION

EXPERIMENTO 1.

Los cambios en la composición química del rastrojo de maíz después de aplicar los tratamientos químicos, se presentan en el Cuadro 3. Todas las variables, excepto la fibra detergente ácido (FDA), celulosa y lignina, fueron diferentes ($P < 0.01$) entre el tratamiento (T) testigo y los otros tratamientos. La aplicación de cualquiera de los álcalis incrementó ($P < 0.01$) el pH inicial, y a su vez, este difirió ($P < 0.01$) debido a la aplicación de NH_3 (10.46) o de NaOH (12.39), así como por la adición (11.19) o no (11.66) de H_2O_2 . Considerando que la reacción de deslignificación que propicia el H_2O_2 , es fuertemente dependiente del pH con un óptimo de 11.5 a 11.6 (Gould, 1984; Gould, 1985; citado por Bhargava et al., 1989; Lewis, 1987a), se asume que los cambios que pudieron ocurrir en la fracción fibrosa del RM en el T3 ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$) fueron causados solo por el efecto del NH_3 , ya que el pH inicial en este tratamiento fue de 10.27. El T testigo (en el que sólo se adicionó agua al rastrojo) presentó un pH cercano a la neutralidad. El menor pH inicial obtenido en los tratamientos con adición de H_2O_2 , puede deberse a que éste último es un ácido débil (Bargallo, 1972), lo cual probablemente ejerció un efecto neutralizante.

CUADRO 3.

pH Y COMPOSICION QUIMICA DEL RASTROJO DE MAIZ EN EL EXPERIMENTO 1.

DETERMINACION	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	EEM	P	CS
	TESTIGO	NH3	NH3 + H2O2	NaOH	NaOH + H2O2			
pH INICIAL	7.13	10.64	10.27	12.67	12.11	0.10	**	1,2,3
pH FINAL	5.45	10.08	9.74	10.62	10.21	0.17	**	1,2
HUMEDAD, (%)	29.1	35.3	37.1	26.2	28.3	0.45	**	1,2,3
MATERIA SECA, (%)	70.9	64.7	62.9	73.8	71.7	0.45	**	1,2,3
MATERIA ORGANICA, (%)	92.4	91.7	92.3	88.2	88.0	0.25	**	1,2
CENIZAS, (%)	7.6	8.3	7.7	11.8	12.0	0.25	**	1,2
NITROGENO, (%)	0.73	1.78	1.69	0.68	0.71	0.02	**	1,2
PROTEINA CRUDA, (%)	4.56	11.09	10.55	4.28	4.40	0.15	**	1,2
F.D.N., (%)	78.2	65.6	67.8	68.8	67.4	0.66	**	1,4
F.D.A., (%)	45.5	44.3	44.7	43.1	42.4	0.68	ns	
HEMICELULOSA, (%)	32.7	21.3	23.1	25.7	25.0	0.79	**	1,2
CELULOSA, (%)	33.7	33.8	34.9	32.8	32.3	0.60	ns	
LIGNINA, (%)	7.9	6.8	5.4	6.1	7.2	0.54	ns	

NH3 = Amoniaco; H2O2 = Peróxido de hidrógeno; NaOH = Hidróxido de sodio.

EEM = Error estandar de la media.

P = ** (P<0.01); ns = no significativo (P>0.05).

CS = Contraste significativo;

1 = T1 vs. T2, T3, T4 y T5.

2 = NH3 vs. NaOH (T2, T3 vs. T4, T5).

3 = Con H2O2 vs. sin H2O2 (T2, T4 vs. T3, T5).

4 = Interacción (T2, T5 vs. T3, T4).

F.D.N. = Fibra detergente neutro; F.D.A. = Fibra detergente ácido.

El pH final fue menor ($P < 0.01$) en el RM testigo, en comparación a los rastrojos tratados químicamente, siendo diferente ($P < 0.05$) en estos últimos, debido al NH_3 (9.91) o al NaOH (10.42). El pH final del rastrojo testigo correspondió a un pH ácido, lo cual sugiere que posiblemente ocurrió un proceso fermentativo. El pH final de los tratamientos con NH_3 , concuerda con el que obtuvieron Males y Gaskins (1982), quienes encontraron un pH de 10.0 en paja de trigo tratada con éste álcali. La diferencia entre el pH inicial y el pH final fue más pequeña en los tratamientos con NH_3 (0.54 puntos), en comparación a la diferencia de los tratamientos con NaOH (1.97 puntos). La reducción del pH conforme transcurre el tiempo de la reacción, se debe posiblemente a la neutralización de los iones presentes en la solución al actuar sobre el esquilmo (Leal, 1989). Esta reducción del pH es un indicio de que, teóricamente, los iones reaccionan con el esquilmo saponificando los enlaces éster del ácido urónico y del ácido acético, así como neutralizando los grupos libres del ácido urónico (Feist et al. 1970; citados por Jackson, 1977).

La humedad difirió ($P < 0.01$) entre los tratamientos con NH_3 (36.2%) o con NaOH (27.3%), así como por la adición (32.7%) o no (30.8%) de H_2O_2 . Estas diferencias se debieron a que en los tratamientos con NH_3 se usó $\text{NH}_4\text{-OH}$ como fuente de NH_3 , lo cual resultó en un material más húmedo. En los tratamientos con NaOH y H_2O_2 , estos agentes se disolvieron en agua para aumentar el volumen a asperjar, lo cual originó también un material con

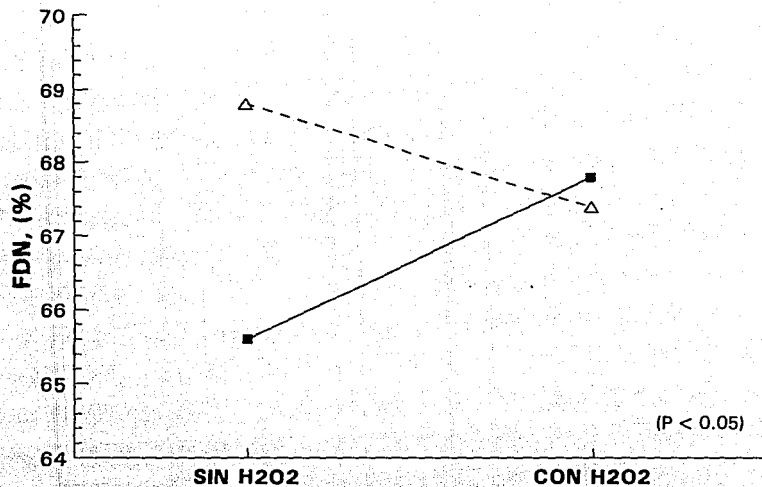
mayor humedad. Kiangi y Kategile (1981) encontraron diferencias de solo 1.0% en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y de la materia orgánica del RM tratado con $\text{NH}_4\text{-OH}$, NH_3 , ó urea, debidas al nivel de humedad, 20 ó 40%. Por su parte, Rodríguez et al. (1985) señalan que el nivel de humedad (20 ó 40%) no produjo cambios importantes en la composición de la paja de frijol tratada con $\text{NH}_4\text{-OH}$ o con urea, excepto por una pequeña reducción del pH, mientras que Aguilera et al. (1990), quienes evaluaron el efecto del nivel de humedad en la digestibilidad *in vitro* y desaparición *in situ* de la materia seca (MS) de paja de trigo tratada con NH_3 e hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), concluyen que con el tratamiento con NH_3 la mejor respuesta se observa con un nivel de humedad de 10 a 20% y para el tratamiento con Ca(OH)_2 el mejor nivel de humedad es de 35%. Sin embargo, en los datos que presentan Aguilera et al. (1990), no existió diferencia en la digestibilidad *in vitro* de la MS de la paja de trigo tratada con NH_3 , con niveles de 20 y 30% de humedad. Los resultados de Kiangi y Kategile (1981), Rodríguez et al. (1985) y de Aguilera et al. (1990), permiten suponer que la diferencia en el contenido de humedad entre los tratamientos del presente estudio, no afectó la composición química del RM.

El porcentaje de materia orgánica (MO) resultó menor ($P < 0.01$) en los T2 al T5 (90.1%) en comparación al testigo (92.4%), así como en T4 y T5 (88.1%), respecto a T2 y T3 (92.0%). Esto se debió a la mayor ($P < 0.01$) concentración de cenizas en los T2 al T5 (9.95%) en comparación al testigo

(7.6%), y en los T4 y T5 (11.9%) en relación al T2 y T3 (8.0%). La concentración de cenizas fue 57% mayor ($P < 0.01$) en T4 y T5 respecto al testigo, y 49% mayor respecto a T2 y T3, debido a la adición de NaOH. Estos incrementos están dentro del rango reportado por Moss et al. (1993), quienes observaron aumentos desde 35 hasta 104% en el contenido de cenizas de paja tratada con NaOH, en relación a la paja no tratada, y el contenido de Na se incrementó de 0.9 a 33.9 g Kg^{-1} MS en la paja no tratada y en la paja tratada con NaOH, respectivamente. Por su parte, Aguilera et al. (1990) reportan un incremento de 59% en el contenido de cenizas de paja de trigo tratada con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, con respecto a la paja testigo.

El nitrógeno (N) se incrementó ($P < 0.01$) 138% en los T2 y T3 en relación al testigo (1.74 vs. 0.73%, respectivamente) y en 150% en relación a T4 y T5 (0.70), como consecuencia de la aplicación del NH_3 . Rodríguez et al. (1985) obtuvieron un incremento de 171% en el contenido de proteína cruda (PC) de la paja de frijol tratada con 4.0% de $\text{NH}_4\text{-OH}$. Leal (1989), al tratar rastrojo de sorgo con NH_3 a razón del 5% de la MS, encontró un incremento de 189% en el contenido de N total, así como un incremento en todas las fracciones de N: N total, N amoniacal, N en FDA, NNP y N proteico. La diferencia en la magnitud del incremento del contenido de N, entre el presente estudio y los estudios de Rodríguez et al. (1985) y Leal (1989), puede deberse a diferencias en la dosis de álcali y al tipo de paja.

La fibra detergente neutro (FDN) disminuyó ($P < 0.01$) en los tratamientos 2 al 5, en comparación al testigo, con promedios de 67.4 y 78.2%, respectivamente. Además, se encontró una interacción ($P < 0.01$) entre álcalis y H_2O_2 , en la que la FDN de los tratamientos NH_3 sin H_2O_2 y NaOH con H_2O_2 , promedió 66.5%, siendo menor a la obtenida con los tratamientos NH_3 con H_2O_2 y NaOH sin H_2O_2 , que fue de 68.3% (Gráfica 1). Esta interacción es inesperada, puesto que la expectativa era que la FDN disminuyera con la adición de H_2O_2 en ambos álcalis, sin embargo, el pH inicial del tratamiento NH_3 con H_2O_2 , no fue lo suficientemente alcalino para promover la reacción de deslignificación. Con base en los resultados del presente estudio, no es posible precisar la causa del efecto negativo del H_2O_2 (asociado al tratamiento con NH_3) en la FDN, aunque se consideró la posibilidad de que los radicales generados por el H_2O_2 compitieran con los radicales generados por el NH_4-OH , por los sitios de fijación a la FDN, lo cual, provocaría un menor efecto del NH_4-OH en la FDN. Sin embargo, esta posibilidad es poco probable, ya que Adebawale et al. (1989), Bhargava et al. (1989) y Lewis et al. (1987a), han encontrado resultados positivos con el tratamiento combinado $NH_3 + H_2O_2$. Los tres grupos de investigadores, obtuvieron incrementos en la degradabilidad de pajas tratadas con $NH_3 + H_2O_2$, respecto a las pajas testigo, y aunque estos autores no presentan los cambios que ocurrieron en la FDN, el incremento en la degradabilidad de la MS sugiere que la FDN disminuyó debido al tratamiento con $NH_3 + H_2O_2$. Sin embargo, la discrepancia entre los resultados



NH3 ■	65,6 (T 1)	67,8 (T 2)
NaOH △	68,8 (T 3)	67,4 (T 4)

GRAFICA 1. INTERACCION ENTRE NH₃ Y NaOH, SIN O CON H₂O₂, EN EL % DE FIBRA DETERGENTE NEUTRO (FDN), EN EL EXPERIMENTO 1.

del presente estudio y los resultados de Adebawale *et al.* (1989), Bhargava *et al.* (1989) y Lewis *et al.* (1987a), puede atribuirse a diferencias en la forma de aplicación del H_2O_2 , ya que el procedimiento que usaron estos autores, implicó, tanto el uso de H_2O_2 -alcalino, como diferencias en el orden de aplicación de los agentes químicos; primero el NH_3 y posteriormente el H_2O_2 ó viceversa.

En el presente estudio, los valores individuales de FDN en los tratamientos con NH_3 sin H_2O_2 y $NaOH$ con H_2O_2 , mostraron una disminución en la FDN de 16.1 y 13.9%, respectivamente, en comparación al testigo. El valor promedio de FDN en los tratamientos con NH_3 fue de 66.7, el cual representa una disminución de 11.5 unidades porcentuales, respecto al testigo. Esta disminución es mayor a la encontrada por Birkelo *et al.* (1986) y Kondo *et al.* (1992), quienes obtuvieron decrementos de 7.2 y 7.8 unidades porcentuales, respectivamente, en la FDN de paja de trigo amoniatazada, en comparación a la paja testigo. El porcentaje de disminución en la FDN con el tratamiento con NH_3 en el presente estudio, es también superior al encontrado por Aguilera *et al.* (1990) quienes reportan decrementos hasta de 13% en el contenido de FDN de paja de trigo tratada con NH_3 o $Ca(OH)_2$, sin embargo, estos autores no presentaron los valores de FDN que obtuvieron en su estudio.

La hemicelulosa resultó 27.4% menor ($P < 0.01$) en T2 a T5, respecto al testigo, y 12.5% menor ($P < 0.01$) en T2 y T3 en

comparación con T4 y T5. La adición de H_2O_2 no afectó ($P > 0.05$) el contenido de hemicelulosa. Amjed et al. (1992) observaron decrementos de 18, 28 y 60% en la hemicelulosa de bagazo de caña, bagacillo de caña y paja de trigo, respectivamente, tratados con H_2O_2 -alcalino, en comparación a los materiales testigo. Por su parte, Meeske et al. (1993) reportan una disolución de 52 y 62% en la hemicelulosa de paja de trigo tratada con NaOH ó H_2O_2 -alcalino, respectivamente. El decremento de hemicelulosa encontrado en el presente estudio, representa el 32 y el 22% para el rastrojo tratado con NH_3 y NaOH, respectivamente, en comparación al testigo. La disminución del contenido de hemicelulosa, como consecuencia del tratamiento químico alcalino, ha sido observada por un gran número de investigadores (Braman y Abe, 1977; Jiménez y Shimada, 1984; Birkelo et al., 1986; Adebowale et al., 1989; Lewis et al., 1987ab; citados por Amjed et al., 1992; Meeske et al. 1993). Adebowale et al. (1989) señalan que la disminución de la hemicelulosa en las pajas tratadas químicamente, es resultado de la solubilización de compuestos tales como xilosa, arabinosa y glucosa, contenidos en la fracción hemicelulósica de la pared celular de las pajas.

La FDA, la celulosa y la lignina no difirieron ($P > 0.05$) entre tratamientos y promediaron 44.0, 33.5 y 6.7%, respectivamente. Birkelo et al. (1986) no encontraron diferencia en el contenido de lignina de paja de trigo tratada o no, con NH_3 y refieren valores de lignina de 7.84 y 7.91%

para la paja tratada y la paja testigo, respectivamente. Aguilera et al. (1990) tampoco encontraron cambios significativos en el contenido de celulosa y lignina de paja de trigo tratada con NH_3 o $\text{Ca}(\text{OH})_2$. En el presente estudio, aunque el valor de lignina fue 32% menor en T3 respecto al testigo, ésta diferencia no fue significativa ($P>0.05$), sin embargo, la diferencia del promedio de lignina en T2 a T5 (6.38) respecto al testigo (7.9), se acercó a la significancia ($P=0.056$). La similitud ($P>0.05$) en el contenido de lignina entre los tratamientos con adición o no de H_2O_2 , sugiere que este agente químico no actuó sobre la lignina. Esto no concuerda con los resultados obtenidos por Gould, (1984); Gould, (1985), Kerley et al. (1986; 1987; 1988); Amjed et al. (1992), lo cual puede deberse a diferencias en la forma de aplicación del H_2O_2 . Al respecto, Adebowale y Ørskov (datos no publicados) (citados por Adebowale et al., 1989) señalan que el método de inmersión provoca mayor deslignificación que el método de aspersión en seco. Meeske et al. (1993) encontraron que la paja de trigo tratada con H_2O_2 -alcalino, contenía 50% menos lignina que la paja no tratada. Sin embargo, aunque el procedimiento que emplearon éstos últimos autores para tratar la paja, lo describen como un método de menor nivel de humedad en relación al proceso de remojo empleado por Kerley et al. (1986), este consistió en suspender 70 kg de paja en 175 l de agua (en los que diluyeron previamente el NaOH y el H_2O_2); lo cual no deja de ser un método húmedo o de completo remojo. En relación a los métodos, Shimada (1987) señala que todos aquellos sistemas que

impliquen la inmersión del material en soluciones químicas para su posterior lavado y secado, tienen pocas posibilidades de ser adoptados, ya que involucran costos elevados por concepto de agua, maquinaria y mano de obra, lo cual no se justifica con el aumento esperado en digestibilidad y/o comportamiento animal.

Varios autores han obtenido resultados positivos con el tratamiento con H_2O_2 alcalino (Kerley et al., 1986; 1987; 1988; Bhargava et al., 1989; Atwell et al., 1991; Cameron et al., 1991; Sultan et al., 1992), mientras que Flachowsky y Sundstøl (1988), Adebawale et al. (1989) y Meeske et al. (1993), no encontraron diferencias en la degradabilidad de la paja de trigo tratada con NaOH o con la combinación de NaOH y H_2O_2 . Esto puede sugerir que el efecto del H_2O_2 -alcalino en los estudios mencionados como positivos, probablemente se ha confundido con el efecto del NaOH, en el intento de mantener un pH de 11.5, pues Chesson (1981), citado por Chesson (1988) señala que el tratamiento alcalino libera una porción substancial (40 a 50%) de la lignina presente inicialmente en la paja. Adebawale et al. (1989) y Meeske et al. (1993), confirmaron la similitud entre el tratamiento con NaOH y el tratamiento con NaOH + H_2O_2 .

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) a 48 h, digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) a 48 h, digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (DIVFDN) a 12, 24, 48 y 72 h, el tiempo lag y la tasa de

digestión (*in vitro*) se presentan en el Cuadro 4. En todas estas variables, excepto en la tasa de digestión, el testigo resultó inferior ($P < 0.01$) a los demás tratamientos. La diferencia ($P < 0.01$) en la DIVMS en favor de todos los tratamientos químicos, respecto al testigo, fue de 23% (12.5 unidades porcentuales) y la diferencia en los tratamientos con NH_3 respecto al testigo, fue de 24.1% (13.1 unidades porcentuales). Este valor concuerda con el obtenido por Leal (1989), quien encontró un incremento de 24% en la DIVMS del rastrojo de sorgo tratado con NH_3 , así como con el obtenido por Kondo et al. (1992), quienes obtuvieron un incremento de 24.8% en la digestibilidad *in situ* de la paja de trigo amoniatazada. La DIVMS no difirió ($P > 0.05$) entre NH_3 y NaOH , promediando 67.1, sin embargo, ocurrió una interacción ($P < 0.01$) entre álcalis y H_2O_2 . Los mayores valores en la DIVMS se encontraron en el par de tratamientos NH_3 sin H_2O_2 (69.3) y NaOH con H_2O_2 (68.2); promediando 68.8, en comparación con el promedio (65.5) de NH_3 con H_2O_2 (66.0) y NaOH sin H_2O_2 (64.9) (Gráfica 2). Estos valores representan incrementos en la DIVMS de 26.2% para el primer par de tratamientos y de 20.1% para el segundo par, respecto al testigo. La magnitud de estos incrementos es inferior a la encontrada por Amjed et al. (1992), quienes encontraron que la DIVMS del bagazo de caña, bagacillo de caña y de la paja de trigo tratados con H_2O_2 -alcalino, fue superior en 166, 161 y 40%, en comparación a los productos no tratados, respectivamente. La interacción entre álcalis y H_2O_2 en la DIVMS, se considera un reflejo de la interacción que ocurrió en

CUADRO 4.

DIGESTIBILIDAD in vitro DE LA MATERIA SECA (DIVMS), MATERIA ORGANICA (DIVMO) Y FIBRA DETERGENTE NEUTRO (DIVFDN) EN EL EXPERIMENTO 1.

DETERMINACION	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	EEM	P	CS
	TESTIGO	NH3	NH3 + H2O2	NaOH	NaOH + H2O2			
DIVMS a 48 h, (%)	54.5	69.3	66.0	64.9	68.2	1.03	**	1,4*
DIVMO a 48 h, (%)	56.5	72.5	69.5	68.0	71.0	1.02	**	1,4*
DIVFDN a 12 h, (%)	4.4	12.0	9.1	13.4	10.1	1.21	*	1,3*
DIVFDN a 24 h, (%)	20.9	41.9	41.4	47.2	45.5	2.33	**	1
DIVFDN a 48 h, (%)	52.5	70.3	74.6	73.0	69.5	1.07	**	1,4*
DIVFDN a 72 h, (%)	61.1	78.5	81.2	79.2	78.6	0.60	**	1,4*
LAG, (h)	12.9	9.9	11.5	9.6	9.2	0.65	*	1
TASA DE DIGESTION, (%/h)	5.4	5.9	6.8	6.6	5.7	0.33	ns	

NH3 = Amoniaco; H2O2 = Peróxido de hidrógeno; NaOH = Hidróxido de sodio.

EEM = Error estandar de la media.

P = ** (P<0.01); * (P<0.05); ns = no significativo (P>0.05).

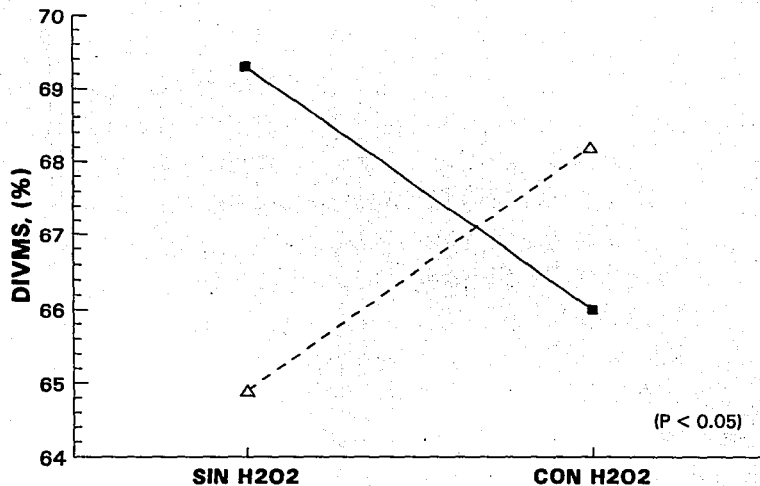
CS = Contraste significativo;

1 = T1 vs. T2, T3, T4 y T5.

2 = NH3 vs. NaOH (T2, T3 vs. T4, T5).

3 = Con H2O2 vs. sin H2O2 (T2, T4 vs. T3, T5).

4 = Interacción (T2, T5 vs. T3, T4).



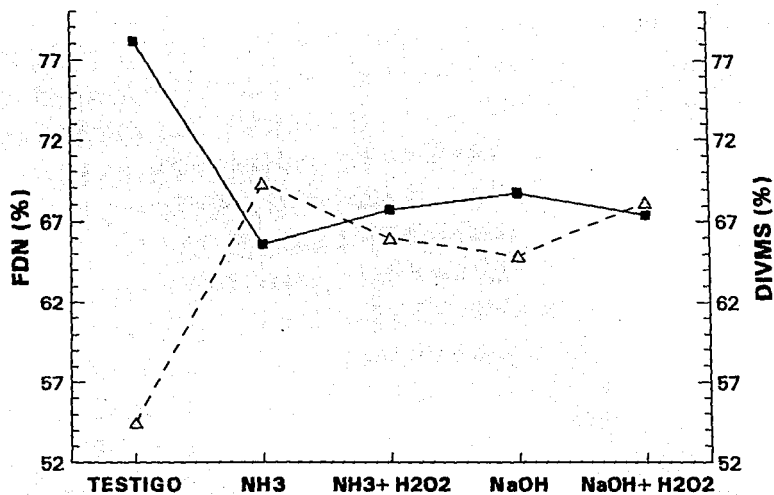
NH3 ■	69,3 (T 1)	66 (T 2)
NaOH △	64,9 (T 3)	68,2 (T 4)

GRAFICA 2. INTERACCION ENTRE NH₃ Y NaOH, SIN O CON H₂O₂, EN LA DIGESTIBILIDAD in vitro DE LA MATERIA SECA (DIVMS), EN EL EXPERIMENTO 1.

la FDN. Independientemente de las interacciones, se observó una relación inversa entre el contenido de FDN y la DIVMS; en los tratamientos en que la FDN fue menor, la DIVMS fue mayor, y viceversa (Gráfica 3).

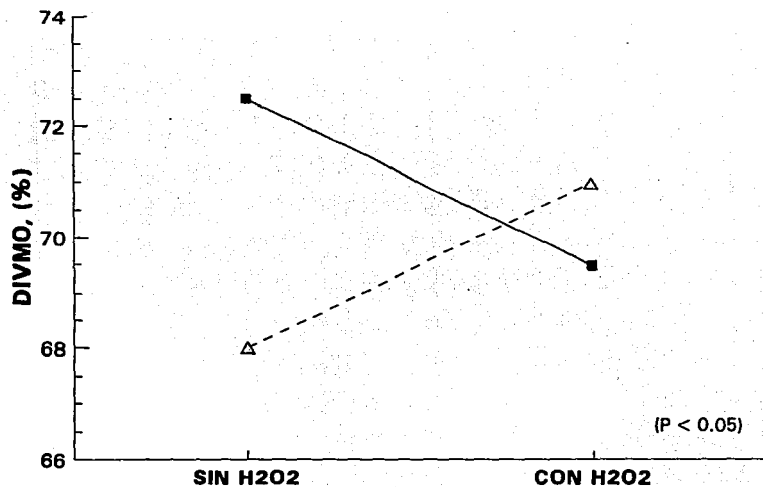
La DIVMO se incrementó ($P < 0.01$) 24.3% en T2 a T5, respecto al testigo, y presentó un comportamiento idéntico al de la DIVMS en cuanto a la interacción observada en ésta última. Los promedios de DIVMO fueron de 71.8 para NH_3 sin H_2O_2 y NaOH con H_2O_2 , y de 68.8 para NH_3 con H_2O_2 y NaOH sin H_2O_2 (Gráfica 4). El incremento en la DIVMO es similar al encontrado por Kondo *et al.* (1992), quienes observaron un aumento de 24.8% en la digestibilidad *in situ* de la MO a 48 h, de paja de trigo amoniatazada.

La DIVFDN a 12 h resultó menor ($P < 0.05$) en los tratamientos con H_2O_2 (9.6), en comparación a los tratamientos sin H_2O_2 (12.7). La DIVFDN a 24 h fue similar ($P > 0.05$) en los tratamientos 2 al 5 (con promedio de 44.0%) y mayor ($P < 0.01$) a la del testigo, que fue de 20.9. En la DIVFDN a 48 y 72 h se observó interacción entre álcalis y H_2O_2 . La DIVFDN a 72 h (FDN potencialmente digestible) fue mayor en los tratamientos NH_3 con H_2O_2 (81.2) y NaOH sin H_2O_2 (79.2), con un promedio de 80.2, que en los tratamientos NH_3 sin H_2O_2 (78.5) y NaOH con H_2O_2 (78.6) (Gráfica 5). La DIVFDN a 72 h en el primer par de tratamientos, representó un incremento de 31.3% (19.1 unidades porcentuales), respecto al testigo, mientras que en el segundo



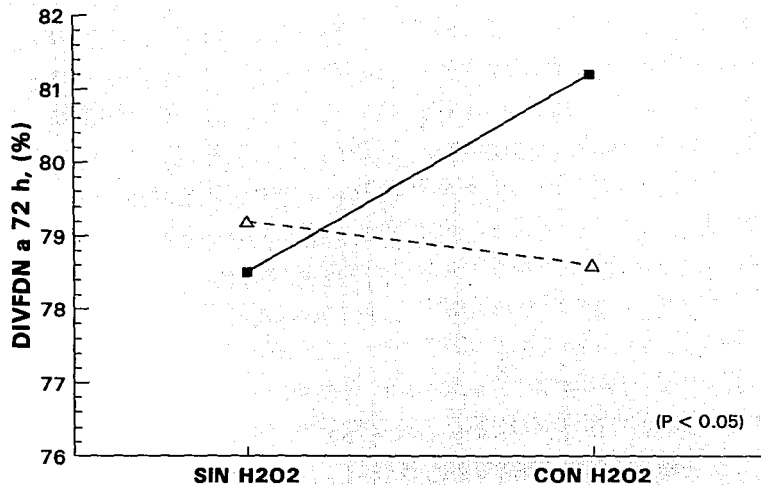
FDN % —■	78,2	65,6	67,8	68,8	67,4
DIVMS % -△-	54,5	69,3	66	64,9	68,2

GRAFICA 3. RELACION ENTRE EL % DE FIBRA DETERGENTE NEUTRO (FDN) Y LA DIGESTIBILIDAD in vitro DE LA MATERIA SECA (DIVMS), EN EL EXPERIMENTO 1.



NH3 ■	72,5 (T 1)	69,5 (T 2)
NaOH △	68 (T 3)	71 (T 4)

GRAFICA 4. INTERACCION ENTRE NH₃ Y NaOH, SIN O CON H₂O₂, EN LA DIGESTIBILIDAD in vitro DE LA MATERIA ORGANICA (DIVMO), EN EL EXPERIMENTO 1.



GRAFICA 5. INTERACCION ENTRE NH3 Y NaOH, SIN O CON H2O2, EN DIGESTIBILIDAD in vitro A 72 h DE LA FIBRA DETERGENTE NEUTRO (DIVFDN), EN EL EXPERIMENTO 1.

par el incremento fue de 28.6% (17.5 unidades porcentuales), en comparación al testigo. La interacción entre álcalis y H_2O_2 en la DIVFDN a 72 h, además de inesperada, es contradictoria, pues es inversa a la interacción que ocurrió entre álcalis y H_2O_2 , en el contenido de FDN, es decir, en los tratamientos en los que la FDN fue menor, la DIVFDN a 72 h fue también menor. La causa de la interacción en la DIVFDN a 72 h, posiblemente este asociada a dos factores: a) Si se expresa el contenido de hemicelulosa como porcentaje de la FDN, la hemicelulosa fue mayor (35.8) en los tratamientos en que la DIVFDN a 72 fue mayor, en comparación al contenido de hemicelulosa (34.8) de los tratamientos en que la DIVFDN a 72 fue menor; b) El contenido de lignina (también expresado como porcentaje de la FDN) fue menor en los tratamientos con la mayor digestibilidad de la FDN. Esto podría sugerir que en los tratamientos con un mayor contenido de hemicelulosa y menor contenido de lignina (ambas expresadas como porcentaje de la FDN), ocurrió una mayor digestión de la FDN.

El tiempo lag fue similar ($P>0.05$) en los tratamientos 2 al 5, cuyo promedio fue de 10.0 h, siendo menor ($P<0.01$) al tiempo lag del testigo, 12.9 h. Estos resultados no concuerdan con lo obtenido por Amjed et al. (1992), quienes encontraron que el tiempo lag para el bagazo y bagacillo de caña y la paja de trigo tratados con H_2O_2 -alcalino, fue similar al tiempo lag de los materiales testigo. Los valores de tiempo lag que se obtuvieron en el presente estudio, también difieren de los

obtenidos por Amjed et al. (1992), pues estos autores encontraron un tiempo lag de 0.9, 2.0 y 1.4 h para el bagazo de caña, bagacillo de caña y paja de trigo testigos, respectivamente, y de 1.0, 2.3 y 0.1 h para estos mismos materiales tratados con H₂O₂-alcalino. Al respecto, Owens y Goetsch (1984) mencionan que el tiempo lag *in vitro*, varía de acuerdo a las características de las plantas y de los microorganismos, las cuales incluyen: Tasa de penetración microbiana en la capa epidérmica de la planta, tasa de hidratación de las partículas, remoción de inhibidores químicos y físicos, composición de la dieta, tasa de adherencia microbiana, especies de microorganismos presentes y tiempo para incrementar el número de bacterias y la cantidad de enzimas. Por su parte, Mertens (1977) señala que el tiempo lag puede estar relacionado con las alteraciones químicas o físicas que deben ocurrir en la fibra antes del inicio de su digestión, y que quizá deben removerse las sustancias limitantes antes de que pueda ocurrir la digestión, o bien, que debe ocurrir una expansión de las fibras antes de que las enzimas puedan penetrar en estas. En el presente estudio, podría considerarse que el menor tiempo lag que se observó en los tratamientos 2 al 5, pudo deberse a que ocurrió remoción de inhibidores químicos y/o físicos (rompimiento de los enlaces lignina-hemicelulosa y solubilización de hemicelulosa) debido al tratamiento químico, y probablemente, se incrementó la tasa de penetración microbiana en los componentes fibrosos. Esta consideración, podría sustentarse en los resultados obtenidos por Latham et

al. (1979); citados por Chesson (1988), quienes encontraron un incremento substancial en el número de bacterias que se adherieron a los tejidos secundarios gruesos de gramíneas, debido al tratamiento alcalino. Al respecto, Akin et al. (1974) y Akin (1979); Citados por Chesson (1988) señalan que la adhesión de las bacterias a su sustrato (paredes celulares), es un proceso selectivo que ocurre predominantemente en la superficie de paredes celulares con un bajo contenido de compuestos fenólicos. Por su parte, Silva y Ørskov (1988) también encontraron que la paja de cebada incubada *in situ* durante 48 h en ovinos que recibían paja de cebada amoniatizada, fue colonizada más extensamente por los microorganismos ruminales, en comparación a la colonización que ocurrió en el heno de Rye Grass o en la paja de cebada incubados *in situ* durante 48 h en ovinos que recibían heno de Rye Grass o paja de cebada sin amoniatizar, respectivamente. Estos últimos autores sugieren que ocurrió un incremento en la densidad microbiana en el rumen de los ovinos que recibieron la paja amoniatizada, y que esto posiblemente se debió a un mayor aporte de celulosa y/o hemicelulosa digestibles. Asimismo, Goto et al. (1993) encontraron mayor colonización microbiana de la superficie luminal de las células de paja de cebada tratada con NH_3 , en comparación a la colonización que ocurrió en la paja testigo. Estos últimos autores señalan que el incremento en la colonización microbiana, como resultado del tratamiento con NH_3 , se explica por los efectos de este álcali en la estructura de la pared celular, los cuales consisten en la reducción del

contenido de compuestos fenólicos, ácidos urónicos y grupos acetil, lo cual a su vez, provoca que el sustrato sea más accesible para los microorganismos ruminales.

La tasa de digestión fue similar ($P > 0.05$) en todos los tratamientos y el promedio fue de $6.08\% \text{ h}^{-1}$. Esta similitud concuerda con la observada por Bhargava et al. (1989), quienes no encontraron diferencia en la tasa de degradación *in situ* de la MS de paja de cebada tratada con H_2O_2 , NaOH, H_2O_2 -alcalino o NH_3 , aunque la tasa de degradación que reportan estos autores ($4.14\% \text{ h}^{-1}$) fue inferior a la encontrada en el presente estudio. Por su parte, Adebowale et al. (1989) encontraron que la tasa de degradación *in situ* de la MS de paja de trigo y olote de maíz fue mayor ($5.35\% \text{ h}^{-1}$) cuando estos materiales se trataron con H_2O_2 -alcalino, que cuando se trataron con NaOH ($4.05\% \text{ h}^{-1}$). Estos últimos autores también encontraron que la tasa de degradación *in situ* de la MS de rastrojo de maíz se incrementó, a medida que aumentó la concentración de H_2O_2 -alcalino, siendo la tasa de degradación de $4.87\% \text{ h}^{-1}$ en el RM testigo, hasta $6.91\% \text{ h}^{-1}$ en el RM tratado con 10.0% de H_2O_2 -alcalino más NH_3 .

EXPERIMENTO 2.

Los cambios en la composición química de todos los tratamientos se presentan en el Cuadro 5. Al igual que en el experimento 1, todos los tratamientos químicos incrementaron ($P < 0.01$) el pH inicial del rastrojo tratado, respecto al testigo; 11.09 vs. 7.02, respectivamente. El nivel de NH_3 no afectó ($P > 0.05$) el pH inicial, promediando 11.88 para el nivel de 1.75% de NH_3 y 11.92 para el nivel de 3.5% de NH_3 . Estos últimos valores de pH inicial en el RM tratado con NH_3 podrían parecer elevados (en comparación al pH obtenido en los tratamientos con NH_3 en el experimento 1), sin embargo, como estos valores promedio toman en cuenta el pH resultante de los tratamientos con el nivel alto (5.0%) de NaOH, no se pueden considerar resultantes solo de la aplicación de NH_3 , sino resultantes del tratamiento con el nivel alto de NaOH. Esto se puede dilucidar en función de los efectos del nivel de NaOH sobre el pH inicial; únicamente el tratamiento con el nivel alto de NaOH resultó en un pH superior ($P < 0.01$) a 11.5, con pH promedio de 12.63. Los tratamientos con el nivel bajo (2.5%) de NaOH promediaron 11.17, por lo que éste nivel no fue suficiente para obtener el pH óptimo para la acción del H_2O_2 . En el experimento 1 se encontró que el NH_3 no tuvo el suficiente efecto alcalinizante sobre el rastrojo para obtener un pH inicial de 11.5, ni tampoco en éste experimento aún con la adición de 2.5% de NaOH.

CUADRO 5.

pH Y COMPOSICION QUIMICA DEL RASTROJO DE MAIZ EN EL EXPERIMENTO 2.

DETERMINACION	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	EEM	P	CS
	TESTIGO	1.75% NH ₃ 2.5% NaOH 2.0% H ₂ O ₂	3.5% NH ₃ 2.5% NaOH 2.0% H ₂ O ₂	1.75% NH ₃ 5.0% NaOH 2.0% H ₂ O ₂	3.5% NH ₃ 5.0% NaOH 2.0% H ₂ O ₂			
pH INICIAL	7.02	11.09	11.25	12.68	12.59	0.08	**	1,3
pH FINAL	7.6	9.8	10.16	10.42	10.8	0.05	**	1,2,3
HUMEDAD, (%)	5.1	33.4	37.1	32.8	36.4	0.56	**	1,2
MATERIA SECA, (%)	94.9	66.6	62.9	67.2	63.6	0.56	**	1,2
MATERIA ORGANICA, (%)	92.1	90.7	90.6	88.5	87.7	0.52	**	1,3
CENIZAS, (%)	7.9	9.3	9.4	11.5	12.3	0.52	**	1,3
NITROGENO, (%)	0.84	1.13	1.36	1.03	1.23	0.04	**	1,2,3*
PROTEINA CRUDA, (%)	5.26	7.03	8.5	6.42	7.72	0.28	**	1,2
F.D.N., (%)	80.0	70.5	66.1	64.8	61.0	0.23	**	1,2,3
F.D.A., (%)	44.7	44.2	44.5	41.7	42.9	0.54	*	3
HEMICELULOSA, (%)	33.3	26.3	21.7	22.8	18.2	0.61	**	1,2,3
CELULOSA, (%)	33.1	34.3	35.7	33.0	33.4	0.67	ns	
LIGNINA, (%)	6.8	7.3	4.5	6.6	6.3	0.81	ns	

NH₃ = Amoniaco; H₂O₂ = Peróxido de hidrógeno; NaOH = Hidróxido de sodio.

EEM = Error estandar de la media.

P = **(<0.01); *(<0.05); ns = no significativo (P>0.05).

CS = Contraste significativo;

1 = T1 vs. T2, T3, T4 y T5.

2 = Nivel de NH₃ (T2, T4 vs. T3, T5).

3 = Nivel de NaOH (T2, T3 vs. T4, T5).

El pH final del rastrojo testigo se incrementó 0.58 puntos. En este experimento a diferencia del experimento 1, el rastrojo testigo no se adicionó con agua, por lo que no se esperaba cambio de pH. La disminución del pH después del periodo de reacción fue de 1.19 y 2.03 para el nivel bajo y para el nivel alto de NaOH, respectivamente. El lapso que tardó el pH en ser menor de 11.5 en T2 a T5 fue evaluado en una prueba adicional de éste experimento (Cuadro 6) y se encontró que el pH fue menor de 11.5 en un lapso menor a 1 h después del aplicar el tratamiento químico; lo que sugiere que el tiempo de reacción del H_2O_2 en la lignina fue muy reducido. Al respecto, Kerley et al. (1986) mencionan que la deslignificación se completa en 6 a 8 h y añaden que después de éste lapso, las partículas de paja se desintegran en fibras pequeñas y dispersas, lo cual no ocurrió en el presente estudio.

La diferencia ($P < 0.01$) en el contenido de humedad entre los tratamientos químicos (34.9) y el testigo (5.1) se explica por lo señalado en el párrafo anterior, en relación a que en éste experimento no se adicionó agua al RM testigo, además, por la aplicación del NaOH en solución acuosa. El nivel de NH_3 afectó ($P < 0.01$) la humedad del material tratado, siendo mayor en los tratamientos con el nivel alto de NH_3 (36.8) que en los tratamientos con el nivel bajo de NH_3 (33.0). Con base en lo mencionado en relación a humedad en el experimento 1, se considera que la diferencia del contenido de humedad en los

CUADRO 6.

CAMBIO DE pH A DIFERENTES HORAS DESPUES DE APLICAR LOS AGENTES QUIMICOS AL RASTROJO DE MAIZ EN EL EXPERIMENTO 2.

TRATAMIENTO	TIEMPO, (h)						
	0	1	2	3	4	6	8
T 2	11.11	10.65	10.65	10.58	10.53	10.48	10.47
T 3	11.55	10.98	11.00	10.96	10.94	10.93	10.93
T 4	12.45	11.31	11.37	11.37	11.26	11.23	11.35
T 5	12.09	11.34	11.40	11.32	11.30	11.35	11.22

T 2 = 1.75% NH₃ + 2.5% NaOH + 2.0% H₂O₂.

T 3 = 3.5% NH₃ + 2.5% NaOH + 2.0% H₂O₂.

T 4 = 1.75% NH₃ + 5.0% NaOH + 2.0% H₂O₂.

T 5 = 3.5% NH₃ + 5.0% NaOH + 2.0% H₂O₂.

tratamientos químicos, no afectó los cambios que pudieran ocurrir en otras fracciones químicas del RM.

La concentración de cenizas difirió ($P < 0.01$) entre el testigo (7.9) y el resto de los tratamientos (10.6), así como también por efecto del nivel de NaOH ($P < 0.01$). El promedio de cenizas fue menor ($P < 0.05$) en los tratamientos con el nivel bajo que con el nivel alto de NaOH (9.4 vs. 11.9%), respectivamente, como consecuencia de la cantidad aplicada de NaOH. Al respecto, Jackson (1977) menciona que el contenido de Na se incrementa aproximadamente 0.6 unidades porcentuales por cada unidad porcentual de NaOH aplicada. Como era de esperarse, en los tratamientos con el mayor contenido de cenizas, el contenido de MO fue menor.

El contenido de N cambió, tanto por efecto del nivel de NH_3 ($P < 0.01$), como por efecto del nivel de NaOH ($P < 0.05$). Los tratamientos con el nivel bajo y el nivel alto de NH_3 resultaron en concentraciones de N de 1.08 y 1.30%, respectivamente, mientras que en los tratamientos con el nivel bajo y el nivel alto de NaOH la concentración de N fue de 1.24 y 1.13%, respectivamente. La disminución aparente del N en los tratamientos con el nivel alto de NaOH, se explica por un efecto de dilución (Butterworth, 1985; Moss et al., 1993). El contenido de N en los tratamientos con el nivel bajo de NH_3 , representó un incremento de solo 28.6%, respecto al testigo. En los tratamientos con el nivel alto de NH_3 , el incremento en el

contenido de N fue de 54.8%, en comparación al testigo, lo cual representó un incremento reducido, sin embargo, se encuentra dentro del rango reportado por Alibes et al., (1984) quienes encontraron aumentos de 47, 52, 76 y 144% en el contenido de N en paja de trigo, paja de cebada, y dos rastrojos de maíz de diferente origen, respectivamente, tratados con 3.5% de NH_3 , y dentro del rango reportado por Aguilera et al. (1990) quienes mencionan que el contenido de N de paja de trigo amoniatazada se incrementó desde 41 hasta 103%. Por su parte, Kondo et al. (1992) y Kraiem et al. (1991) encontraron incrementos de 62.5 y 78.6%, respectivamente, en el contenido de N de paja de trigo tratada con 3.0% de NH_3 . Con relación a la variación que se observa en el contenido de N de las pajas tratadas con NH_3 , Leal (1989) menciona que la variación en el aumento del contenido de N amoniacal y como consecuencia en el contenido de N total, se explica por razones ya sea inherentes al tipo de rastrojo y a su composición química, o bien por las condiciones del tratamiento (contenido de humedad, tamaño de partícula, dosis de NH_3 , temperatura, presión, tiempo de reacción y combinación de NH_3 con otros agentes químicos). El efecto de estos factores en la incorporación del N a las pajas tratadas con NH_3 , ha sido señalado también por Sundstøl et al., (1978); Herrera-Saldaña et al., (1982) y Saenger et al., (1982).

La FDN disminuyó ($P < 0.01$) por efecto de los tratamientos químicos, en comparación al testigo, así como por efecto del nivel de NH_3 ($P < 0.01$) y por efecto del nivel de NaOH ($P < 0.01$).

El promedio de los tratamientos químicos fue de 65.6% de FDN, lo que representó una disminución de 18.0%, respecto al testigo. La disminución respecto al testigo, fue en el T2 de 11.9%, en el T3 de 17.4%, en el T4 de 19.0% y en el T5 de 23.8%, lo cual es indicativo de que la FDN disminuyó linealmente en relación a la cantidad de ambos álcalis. Esta relación concuerda con la observada por Fernández-Carmona y Greenhalgh (1972); citados por Jackson (1977), quienes encontraron un incremento lineal en la digestibilidad *in vitro* de paja tratada hasta con 14% de NaOH, y con la observada por Braman y Abe (1977), quienes obtuvieron incrementos en la digestibilidad *in vitro* debidos al incremento en la concentración (de 2 a 4%), tanto de NaOH, como de $\text{NH}_4\text{-OH}$.

La mayor diferencia de FDN (19 unidades porcentuales) ocurrió entre el testigo y el T5 (nivel alto de ambos álcalis), lo cual sugiere que probablemente ocurrió un efecto aditivo de NH_3 + NaOH, ya que en el experimento 1 el NaOH redujo la FDN únicamente en 9.4 unidades porcentuales y el NH_3 la redujo en 12.6 unidades porcentuales. Este posible efecto aditivo se manifestó no solo en el T5, sino en todos los tratamientos químicos, ya que la disminución en la FDN en relación al testigo, en este experimento (18.0%), fue mayor a la observada en el experimento 1 (13.8%). Al respecto, Leal (1989) encontró que el daño celular que ocurre en todos los tejidos vegetales (especialmente en los tejidos lignificados), es mayor con los

tratamientos combinados que con los simples y prevalece el efecto del segundo o último agente químico aplicado.

La FDA disminuyó ($P < 0.01$) únicamente por efecto del nivel de NaOH, siendo de 44.3 y 42.3% en los tratamientos con el nivel bajo y el nivel alto de NaOH, respectivamente. Esta disminución se atribuye al ligero decremento en el contenido de celulosa en los tratamientos con el nivel alto de NaOH, aunque el cambio en la celulosa no fue significativo ($P > 0.05$). Al respecto, Jackson (1977) menciona que el tratamiento alcalino disuelve la lignina, los silicatos y la hemicelulosa, pero no la celulosa.

La hemicelulosa se modificó ($P < 0.01$) debido a los tratamientos químicos y al nivel de álcali. Con los tratamientos químicos, el promedio de hemicelulosa fue de 22.3%, mientras que en el testigo fue de 33.3%, lo cual representó una disminución de 33.2%. El nivel bajo de NH_3 resultó en una concentración de hemicelulosa de 24.6%, mientras que el promedio para los tratamientos con el nivel alto de NH_3 fue de 20.0%. En los tratamientos con el nivel bajo y el nivel alto de NaOH, los promedios de hemicelulosa fueron de 24.0 y 20.5%, respectivamente. En general, el nivel alto de ambos álcalis, provocó la mayor disminución en el contenido de hemicelulosa.

Las concentraciones de celulosa y lignina fueron similares ($P > 0.05$) en todos los tratamientos y los promedios generales fueron de 33.9 y 6.3%, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el experimento 1, pues en este último los promedios de celulosa y lignina fueron de 33.5 y 6.7%, respectivamente. Esta similitud entre ambos experimentos, sugiere que no existió efecto aditivo de los álcalis en el contenido de celulosa ni en el contenido de lignina.

La DIVMS a 48 h, DIVMO a 48 h, DIVFDN a 12, 24, 48 y 72 h, el tiempo lag y la tasa de digestión (*in vitro*), se presentan en el Cuadro 7. La DIVMS a 48 h solo difirió ($P = 0.071$) entre el testigo y los tratamientos químicos, con promedios de 54.2 y 65.7%, respectivamente, lo que representó un incremento de 21.2%. El nivel de ambos álcalis no afectó ($P > 0.05$) la DIVMS. La DIVMO también difirió ($P < 0.05$) únicamente por los tratamientos químicos, resultando en promedios de 57.2 y 69.9%; incremento de 22.2%. Esta similitud entre los niveles de ambos álcalis en la DIVMS y en la DIVMO, sugiere que la combinación de los niveles bajos (1.75% de NH_3 y 2.5% de NaOH) pueden ser suficientes para obtener un incremento de 21.2% en la DIVMS y de 22.2% en la DIVMO, respecto al rastrojo sin tratar. En relación al efecto de la combinación de agentes químicos en la DIVMS, Leal (1989) encontró que el tratamiento con 5.0% de NH_3 + 5.0% de dióxido de azufre (SO_2), incrementó en 28% (de 36.6 a 46.9%) la DIVMS de rastrojo de sorgo, en comparación al rastrojo testigo, mientras que en el tratamiento con NH_3 el

CUADRO 7.

DIGESTIBILIDAD in vitro DE LA MATERIA SECA (DIVMS), MATERIA ORGANICA (DIVMO) Y FIBRA DETERGENTE NEUTRO (DIVFDN) EN EL EXPERIMENTO 2.

DETERMINACION	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	EEM	P	CS
	TESTIGO	1.75% NH3	3.5% NH3	1.75% NH3	3.5% NH3			
		2.5% NaOH	2.5% NaOH	5.0% NaOH	5.0% NaOH			
		2.0% H2O2	2.0% H2O2	2.0% H2O2	2.0% H2O2			
DIVMS a 48 h, (%)	54.2	65.3	65.9	63.7	68.0	2.59	=0.071	1
DIVMO a 48 h, (%)	57.2	69.1	70.2	68.0	72.4	2.38	*	1
DIVFDN a 12 h, (%)	4.7	6.7	8.5	11.3	12.5	1.13	*	1,3
DIVFDN a 24 h, (%)	31.4	28.1	38.1	56.8	58.3	2.78	**	1,3
DIVFDN a 48 h, (%)	64.3	74.1	76.9	78.1	77.5	1.79	*	1
DIVFDN a 72 h, (%)	67.3	81.0	84.1	84.7	85.6	0.50	**	1,2,3
LAG, (h)	13.3	13.6	12.2	8.8	7.6	1.22	*	3
TASA DE DIGESTION, (%/h)	8.7	7.0	6.7	7.4	6.0	1.05	ns	

NH3 = Amoniaco; H2O2 = Peróxido de hidrógeno; NaOH = Hidróxido de sodio.

EEM = Error estandar de la media.

P = ** (P<0.01); * (P<0.05); ns = no significativo (P>0.05).

CS = Contraste significativo;

1 = T1 vs. T2, T3, T4 y T5.

2 = Nivel de NH3 (T2, T4 vs. T3, T5).

3 = Nivel de NaOH (T2, T3 vs. T4, T5).

incremento fue de 24.4% y en el tratamiento con SO_2 no existió diferencia. El mayor incremento en el estudio de Leal (1989), se puede atribuir a la mayor dosis de los agentes químicos.

La DIVFDN a 12 y 24 h resultó mayor con los tratamientos químicos y con el nivel alto de NaOH. La DIVFDN a 48 h solo se afectó por los tratamientos químicos, no así a 72 h, en que fue mejorada ($P < 0.01$) tanto por el tratamiento químico como por el nivel de ambos álcalis. El incremento en la DIVFDN a 72 h, respecto al testigo, fue de 24.7%. El nivel bajo y el nivel alto de NH_3 respecto al testigo fue de 23.2 y 26.2% y para el nivel bajo y alto de NaOH fue de 22.7 y 26.6%, respectivamente. Al igual que el porcentaje de FDN, la DIVFDN a 72 h, se incrementó linealmente en relación a la cantidad de ambos álcalis, siendo de 81.0, 84.1, 84.7 y 85.6% para los tratamientos 2 al 5, respectivamente.

El tiempo lag fue menor ($P < 0.05$) solamente con el tratamiento con NaOH. Con el nivel alto de éste álcali el tiempo lag promedio fue de 8.2 h, en comparación a T1, T2 y T3 que promediaron 13.0 h. Esta disminución es indicativa de un efecto más severo sobre la pared celular, debido a la mayor cantidad de NaOH (en comparación al efecto del nivel bajo de este álcali o al efecto del nivel bajo o alto de NH_3), lo cual se manifestó probablemente por una mayor susceptibilidad para el inicio del ataque microbiano. La tasa de digestión no se

afectó ($P > 0.05$) por los tratamientos químicos ni por el nivel de los álcalis, siendo en promedio de $7.2 \pm h^{-1}$.

EXPERIMENTO 3.

Los cambios en la composición química se presentan en el Cuadro 8. Aunque el pH inicial fue diferente ($P < 0.05$) entre tratamientos, solo es apreciable la diferencia entre el testigo y los tratamientos 2 al 5, ya que como se mencionó en el experimento 2, el pH debido al nivel alto de NaOH promedió 12.63 y el promedio en éste caso fue de 12.60, el cual es atribuible solo al efecto del NaOH. El pH a las 24 h, que correspondió al pH del RM al momento de adicionar las levaduras, minerales, melaza y urea, difirió ($P < 0.01$) solo entre el testigo y los otros tratamientos. De igual manera, el pH final fue diferente ($P < 0.01$) únicamente entre el testigo (8.51) y los otros tratamientos (10.37). La humedad aumentó ($P < 0.05$) con la adición de los álcalis, lo cual, como ya se discutió en los experimentos previos, se debe a que los álcalis se aplicaron en solución, además, en éste experimento se usó agua como vehículo para la aplicación de levaduras, minerales, melaza y urea al RM, lo cual ocasionó que éste último tuviera mayor humedad. El menor contenido de humedad del RM en todos los tratamientos de este experimento, en comparación a los dos experimentos anteriores, se debe a que el RM fue retirado de las bolsas cerradas (en las que permaneció durante el lapso permitido para el tratamiento químico) para adicionar las levaduras y los otros aditivos, y posteriormente permaneció en un ambiente abierto, con la consecuente pérdida de humedad.

CUADRO 8.

pH Y COMPOSICION QUIMICA DEL RASTROJO DE MAIZ EN EL EXPERIMENTO 3.

DETERMINACION	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	EEM	P
	TESTIGO	3.5% NH3 5.0% NaOH 2.0% H2O2	COMO T 2 + LEVADURAS + MINERALES	COMO T 3 + MELAZA	COMO T 4 + UREA		
pH INICIAL	7.75 c	12.55ba	12.35 b	12.87 a	12.62 ba	0.13	**
pH a 24 h	7.72 b	11.67 a	10.92 a	11.35 a	11.71 a	0.26	**
pH FINAL	8.51 b	10.34 a	10.42 a	10.3 a	10.4 a	0.03	**
HUMEDAD, (%)	8.9 d	16.5 c	17.8 c	23.1 a	20.5 b	0.47	**
MATERIA SECA, (%)	91.1 a	83.5 b	82.2 b	76.9 d	79.5 c	0.47	**
MATERIA ORGANICA, (%)	91.7 b	88.0ba	85.9 a	83.7 a	84.8 a	1.49	=0.063
CENIZAS, (%)	8.3 b	12.0ba	14.1 a	16.3 a	15.2 a	1.49	=0.063
NITROGENO TOTAL, (%)	0.57 c	0.97 b	0.98 b	0.98 b	1.91 a	0.02	**
NITROGENO P.V., (%)	0.48 c	0.52ba	0.50 bc	0.53 a	0.51ba	0.01	*
N.N.P., (%)	0.09 c	0.45 b	0.49 b	0.46 b	1.40 a	0.17	**
PROTEINA CRUDA, (%)	3.58 c	6.05 b	6.15 b	6.16 b	11.98 a	0.14	**
PROTEINA VERDADERA, (%)	3.03	3.22	3.11	3.26	3.2	0.04	NS
F.D.N., (%)	79.8 a	68.5 b	67.1 c	64.4 e	65.9 d	0.31	**
F.D.A., (%)	48.0 a	46.2 b	45.9 b	43.8 c	43.2 c	0.24	**
HEMICELULOSA, (%)	31.8 a	22.3 b	21.2 bc	20.5 c	22.7 b	0.46	**
CELULOSA, (%)	36.8 a	36.6 a	36.2 a	34.1 b	33.5 b	0.22	**
LIGNINA, (%)	6.4 a	5.4 d	5.7 b	5.5 c	5.8 b	0.02	**

NH3 = Amoniaco; H2O2 = Peróxido de hidrógeno; NaOH = Hidróxido de sodio.

EEM = Error estándar de la media.

P = ** (P<0.01); * (P<0.05); ns = no significativo (P>0.05).

N.N.P. = Nitrógeno no proteico; F.D.N. = Fibra detergente neutro; F.D.A. = Fibra detergente ácido.

Distintas literales por renglón, indican diferencia (P<0.05).

Las cenizas se incrementaron ($P=0.063$) respecto al testigo debido a la aplicación de los álcalis. La adición de minerales en los T3, T4 y T5 y la adición de melaza en los T4 y T5, no aumentó la concentración de cenizas respecto al T2, quizás debido a que las dosis de ambos aditivos fueron relativamente bajas.

El N total fue mayor ($P<0.01$) en los tratamientos 2 al 5, en comparación al testigo, como consecuencia de la aplicación de NH_3 y urea en los primeros. Entre éstos, el T5 presentó el mayor contenido de N debido a la adición de urea. El incremento en el contenido de N en los tratamientos con NH_3 , respecto al testigo, fue de 71.3%. El N de la proteína verdadera (PV) no indicó cambios importantes debido a la adición de los agentes químicos, de las levaduras ni de la melaza, aunque existió diferencia ($P<0.05$) entre T2, T4 y T5 respecto al testigo y entre T3 y T4 entre sí. Esta escasa importancia que se le atribuye a las diferencias en el N de la PV, se sustenta en que los T3, T4 y T5 fueron similares ($P>0.05$) al T2. Los valores de PV fueron similares ($P>0.05$) en todos los tratamientos, promediando 3.16% de PV. El aumento en el N de la PV puede ocurrir, según Leal (1989), debido de la liberación de polipéptidos contenidos en la celulosa, ya que esta se expande por la acción de los álcalis en la pared primaria del esquilmo.

Se esperaba que la adición de las levaduras y de los substratos (minerales, melaza y urea) promoviera cambios

importantes en el contenido de PV del RM, no por la simple adición de ambos elementos (levaduras y substratos), sino porque se pretendía que las levaduras utilizaran para su crecimiento poblacional, por una parte, los substratos añadidos y por otra, los carbohidratos solubilizados por el tratamiento químico previo, y aportaran así, una cantidad adicional de PV ó de N total al RM. La ausencia de incremento en la PV del RM adicionado con levaduras, minerales, melaza y urea, sugiere que no ocurrió crecimiento poblacional de las levaduras, o que este fue de reducida magnitud, lo cual puede atribuirse a las siguientes posibles causas: 1) Reducida o nula viabilidad de las levaduras usadas, 2) Dosis demasiado pequeña de levaduras (en relación al peso del RM), 3) Tiempo insuficiente (36 h) para el posible crecimiento y acción de las levaduras y 4) Nulo crecimiento o muerte de las células de levaduras por las condiciones extremas de alcalinidad, debido al tratamiento químico previo. En general, se puede considerar que el microambiente fue inapropiado para las levaduras, en términos de substratos presentes (incluyendo al RM), y condiciones de pH, además de la posible influencia de factores tales como la temperatura y la humedad. Por otro lado, se puede suponer que *Saccharomyces cerevisiae* no es un microorganismo apropiado para usarse como inóculo en pajas pretratadas químicamente, para incrementar el contenido nutricional de estas, sin embargo, esto tendría que evaluarse en otros estudios. En relación al punto 4, el pH del RM al momento de adicionar las levaduras y los otros aditivos fue en promedio de 11.33, el cual fue

superior al pH DE 11.1 señalado por Smith (1965); citado por Arias (1992) como máximo tolerable por las levaduras. Por su parte, Brock et al. (1984) mencionan que cuando las levaduras se encuentran en un medio con pH elevado, ocurre disolución de la membrana plasmática y la consecuente lisis celular.

Los incrementos ($P < 0.01$) en el contenido de NNP (calculado como la diferencia entre el N total y el N de proteína verdadera) en los T2 a T5 respecto al testigo, son resultado de la aplicación de NH_3 y de urea. Los T2, T3 y T4 fueron similares ($P > 0.05$) entre sí y promediaron 0.47 de NNP vs. 0.09 del testigo. El NNP en el T5 fue superior ($P < 0.05$) a todos los demás tratamientos, debido a la adición de urea en este tratamiento.

La FDN disminuyó ($P < 0.05$) de 79.8% en el testigo, a un promedio de 66.5% en los otros tratamientos, existiendo diferencias ($P < 0.05$) entre éstos últimos. Sin embargo, las diferencias entre T2 a T5 fueron de reducida magnitud, pues tomando como referencia al tratamiento químico (T2), la disminución en T3 fue de 1.4 unidades porcentuales (2.0%), la de T4 fue de 4.1 unidades porcentuales (6.0%) y la de T5 de 2.6 unidades porcentuales (3.8%), los tres, respecto al T2. En contraste, la diferencia entre el testigo y el T2 fue de 11.3 unidades porcentuales (14.2%).

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA INSTITUCION

En general, en la FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina, aún cuando existieron diferencias estadísticas entre tratamientos, los cambios importantes solo ocurrieron entre el testigo y los otros tratamientos. La FDA fue 9.4% menor ($P < 0.05$) en T4 y T5, respecto al testigo, pero solo 5.5% menor ($P < 0.05$) respecto a T2 y T3, siendo similares entre sí ($P > 0.05$) T2 y T3 así como T4 y T5. La hemicelulosa se encontró disminuida ($P < 0.05$) en 31.8% en los tratamientos 2 al 5, respecto al testigo, siendo similares ($P > 0.05$) entre sí T2, T3 y T5, así como T3 y T4. El decremento en la hemicelulosa, está dentro del rango de disminución obtenido en los experimentos 1 y 2 (27.4 y 33.3%, respectivamente), debido al tratamiento químico. Los cambios en la celulosa representaron una disminución ($P < 0.05$) de 7.5% en T4 y T5, respecto al promedio de T1, T2 y T3, los cuales fueron similares ($P > 0.05$) entre sí. La lignina resultó 12.5% menor ($P < 0.05$) en los tratamientos 2 al 5, en comparación al testigo, pero ésta no disminuyó en los tratamientos 3 al 5, en comparación al T2. Algunos autores reportan decrementos en el contenido de lignina, en pajas inoculadas con microorganismos tales como *Phanerochaete chrysosporium* y *Phlebia tremellosa*, (Jung et al., 1992), o con hongos macroscópicos como *Pleurotus ostreatus* (Kaneshiro, 1977; citado por Romero y Orcasberro, 1985), sin embargo, Kirk et al. (1978) y Reid y McQueen (1983); ambos citados por Jung et al. (1992) señalan que *Phanerochaete chrysosporium* no desarrolla actividad sobre la lignina, a menos que el nitrógeno sea limitante.

La digestibilidad *in vitro* (DIV) de la MS y MO a 48 h y de la FDN a 12, 24, 48 y 72 h, el tiempo lag y la tasa de digestión (*in vitro*) se presentan en el Cuadro 9. La DIVMS y la DIVMO fueron superiores en 14.2 y 14.5 unidades porcentuales (23.9 y 23.4%), respectivamente, en los tratamientos 2 al 5, en comparación al testigo. La DIVMS fue similar ($P>0.05$) en los T2 y T5, así como en los T3 y T4, pero el promedio de T3 y T4, fue 6 unidades porcentuales (8.4%) superior ($P<0.05$) al promedio de T2 y T5. En la DIVMO se observó el mismo patrón de diferencias, pero la magnitud de éstas fue menor; 5.8 unidades porcentuales (7.9%) en favor de T3 y T4 vs. T2 y T5. La mayor digestibilidad de la MS y de la MO en los T3 y T4, respecto a T2, pudo deberse a la adición de minerales y melaza en estos tratamientos. Por otra parte, la similitud entre T2 y T5, parece indicar que la urea no fue benéfica para incrementar la DIVMS ni la DIVMO del RM.

La DIVFDN a 12 h fue similar ($P>0.05$) en todos los tratamientos experimentales, promediando 13.9%. En la DIVFDN a 24 h se comenzó a notar diferencia ($P=0.05$) entre el testigo y los otros tratamientos y a las 48 h la diferencia fue marcada; 66.0 vs. 77.7% para el testigo y los otros tratamientos, respectivamente. El T5 fue inferior a T2, T3 y T4; 73.8 vs. 78.9%, respectivamente. La DIVFDN a 72 h solo difirió ($P<0.01$) entre el testigo y los otros tratamientos, con promedios de 74.3 y 84.5, respectivamente, lo cual representó un incremento de 13.7% (10.2 unidades porcentuales). Ni el tiempo lag ni la

CUADRO 9.

DIGESTIBILIDAD *in vitro* DE LA MATERIA SECA (DIVMS), MATERIA ORGANICA (DIVMO) Y FIBRA DETERGENTE NEUTRO (DIVFDN) EN EL EXPERIMENTO 3.

DETERMINACION	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	EEM	P
	TESTIGO	3.5% NH ₃ 5.0% NaOH 2.0% H ₂ O ₂	COMO T 2 + LEVADURAS + MINERALES	COMO T 3 + MELAZA	COMO T 4 + UREA		
DIVMS a 48 h, (%)	59.5 c	71.9 b	77.0 a	76.4 a	69.4 b	0.61	**
DIVMO a 48 h, (%)	61.9 c	74.8 b	79.5 a	79.0 a	72.1 b	0.58	**
DIVFDN a 12 h, (%)	10.8	14.3	14.6	15.8	14.2	0.69	ns
DIVFDN a 24 h, (%)	27.3 b	46.1 a	44.0 a	37.9 ab	40.6 a	2.04	>0.05
DIVFDN a 48 h, (%)	66.0 c	79.8 a	78.6 a	78.4 a	73.8 b	0.34	**
DIVFDN a 72 h, (%)	74.3 b	85.3 a	85.3 a	85.3 a	82.1 a	0.67	**
LAG, (h)	12.0	11.0	10.8	11.4	10.4	0.30	ns
TASA de digestion, (%/h)	5.9	7.3	6.8	6.7	6.0	0.25	ns

NH₃ = Amoniaco; H₂O₂ = Peróxido de hidrógeno; NaOH = Hidróxido de sodio.

EEM = Error estándar de la media.

P = ** (P<0.01); ns = no significativo (P>0.05).

Distintas literales por renglón, indican diferencia (P<0.05).

tasa de digestión se afectaron ($P>0.05$) por los tratamientos, promediando 11.1 h y 6.54 h⁻¹, respectivamente.

En general, la DIVMS, DIVMO y DIVFDN fueron mayores en este experimento, en comparación a las obtenidas en los experimentos 1 y 2, lo cual puede deberse a diferencias en el RM, ya que el usado en el presente experimento, fue de diferente origen. Otra causa que puede haber influido, es que la vaca donadora del inóculo ruminal fue alimentada con diferente tipo de forraje. Cuando se colectó líquido ruminal para los experimentos 1 y 2 la dieta de ésta vaca consistió en forraje verde de alfalfa, mientras que la dieta que recibió cuando se realizó el presente experimento, consistió en heno de alfalfa. Al respecto, Cherney et al. (1993) mencionan que la fuente de fibra de la dieta de animales donadores, puede afectar la digestibilidad *in vitro*, aún cuando la composición química de la dieta sea similar.

Aunque los valores de digestibilidad fueron mayores en el presente experimento, los incrementos promedio en la DIVMS y en la DIVMO, respecto al testigo, fueron similares en los tres experimentos. La DIVMS se incrementó en 23.0, 21.2 y 23.9%, en los experimentos 1, 2 y 3 y el incremento en la DIVMO fue de 24.3, 22.2 y 23.4% en los experimentos 1, 2 y 3, respectivamente.

EXPERIMENTO 4.

En el Cuadro 10 se presenta la composición química de las dietas. Cabe señalar que los valores en éste cuadro son resultado del análisis químico de las dietas, a diferencia de la información que se presentó en el Cuadro 2, que correspondió a la composición relacionada con los ingredientes y a la concentración calculada de proteína cruda (PC) y de energía metabolizable (EM). La composición química de las dietas difirió particularmente entre la dieta testigo y las otras dietas, ya que estas últimas fueron similares entre sí, excepto en el contenido de PC. Las diferencias sobresalientes entre la dieta testigo y las otras dietas, correspondieron al contenido de MS, MO, cenizas, PC, FDN y hemicelulosa, lo cual se atribuye al efecto de los tratamientos químicos al RM incluido en las dietas 2 a 4. El menor contenido de MS en las dietas que contenían el RM tratado químicamente, se debe a que el NaOH y el H₂O₂ se aplicaron en solución, lo que aumentó el contenido de humedad. La MO fue menor en las dietas 2 a 4 respecto a la dieta testigo, como consecuencia del mayor contenido de cenizas en las dietas 2 a 4, debido a la aplicación de NaOH. La concentración de PC resultó menor a la calculada (14.0%) en todas las dietas, con diferencias de: -0.48, -1.74, -3.58 y -3.29 unidades porcentuales para las dietas 1 a 4, respectivamente. No fue posible determinar con exactitud el origen de estas diferencias, sin embargo, entre las posibles causas, se pueden considerar: a) Pérdida de N en el RM durante

CUADRO 10.

COMPOSICION QUIMICA DE LAS DIETAS DEL EXPERIMENTO 4.
(% en base seca).

COMPONENTE	T 1	T 2	T 3	T 4
	TESTIGO	NaOH + H2O2	NH3 + NaOH	NH3 + NaOH + H2O2
MATERIA SECA	91.96	85.36	87.76	86.33
MATERIA ORGANICA	83.78	79.05	79.64	79.92
CENIZAS	16.22	20.95	20.36	20.08
PROTEINA CRUDA	13.57	12.31	10.46	10.75
F.D.N.	66.49	61.01	61.15	61.75
F.D.A.	39.26	38.17	38.19	38.76
HEMICELULOSA	28.14	22.84	22.97	22.99
CELULOSA	27.92	27.12	28.28	28.86
LIGNINA	8.63	8.00	7.62	7.81

NaOH = Hidróxido de sodio; H2O2 = Peróxido de hidrógeno; NH3 = Amoniaco.
F.D.N. = Fibra detergente neutro; F.D.A. = Fibra detergente ácido.

el molido y el mezclado, debido a la pérdida de partículas de origen foliar (Beever et al., 1981; Jaster y Murphy, 1983; citados por Firkins et al., 1986), lo cual pudo haber disminuido la PC en las dietas 1 y 2; b) Desigualdad en la distribución del NH_3 en el RM amoniatoado (Males y Gaskins, 1982), lo cual pudo haber afectado la PC de las dietas 3 y 4, y c) Sobreestimación del contenido de humedad del RM usado en las dietas 2, 3 y 4, lo cual diluyó la cantidad proporcional de los otros ingredientes en la dieta con la consiguiente disminución en el aporte de PC a partir de dichos ingredientes.

Los cambios más apreciables entre la dieta testigo y las otras dietas, correspondieron al contenido de FDN y de hemicelulosa, lo cual, se atribuye al efecto de los tratamientos químicos al RM, sin embargo, no se observaron diferencias apreciables debidas a las diferentes combinaciones de los agentes químicos usados. El contenido de FDN fue 7.8% menor y el contenido de hemicelulosa 18.5% menor en las dietas 2 a 4, en comparación a la dieta testigo. El contenido de FDA y celulosa fue similar entre las cuatro dietas y el contenido de lignina fue ligeramente menor en las dietas que contenían el RM tratado químicamente, en comparación a la dieta testigo, 7.81 vs. 8.63%, respectivamente.

Por otra parte, la amoniatoación al RM incrementó 117% el contenido de PC: 4.12 vs. 8.96%, para RM testigo y tratado con NH_3 , respectivamente. Este incremento está dentro del rango

obtenido por otros autores. Soriano et al. (1995) obtuvieron un incremento de 108% en el contenido de PC (de 7.5 a 15.6%) del pasto salado (*Distichlis spicata*) tratado con 3.5% de NH_3 ; Aguilera (1988) reporta un incremento de 133% en el contenido de PC del RM (de 5.5 a 12.8%), debido a la amoniatización y Zorrilla-Rios et al. (1989) obtuvieron 139% de incremento en la PC (de 4.8 a 11.5%) de la paja de trigo tratada con 4% de NH_3 .

El consumo de las diversas fracciones de las dietas se presenta en el Cuadro 11. El consumo de MS fue similar ($P>0.05$) entre las dietas que contenían el RM tratado químicamente, pero el promedio de estas (1140g d^{-1}) fue 26.5% mayor ($P<0.01$) que el de la dieta testigo (901 g d^{-1}). Este incremento concuerda con el reportado por Birkelo et al. (1986), quienes obtuvieron un incremento del 25% en el consumo de MS de paja tratada con NH_3 ofrecida a novillos. Por su parte, Zorrilla-Rios et al. (1989) obtuvieron 30% de aumento en el consumo voluntario de paja de trigo amoniatizada, ofrecida a ovinos. El incremento obtenido en el presente estudio y en los estudios de Birkelo et al. (1986) y Zorrilla-Rios et al. (1989), es superior al encontrado por Soriano et al. (1995); quienes obtuvieron un incremento de solo 3.2% en el consumo de MS de dietas conteniendo heno de pasto salado amoniatizado, ofrecidas a ovinos.

El mayor consumo de MS en las dietas 2 a 4, se atribuye en gran parte a la mayor ($P<0.05$) digestibilidad de la MS de estas dietas (Cuadro 12), lo cual, es a su vez resultado de la acción

de los agentes químicos. El consumo de RM está limitado presumiblemente, por el llenado ruminal y en su caso, por el deficiente contenido de PC. El incremento en la digestibilidad de la MS y en el contenido de PC del RM por medio de la amoniatización, provoca un aumento en la tasa de desaparición del contenido ruminal, lo que propicia un mayor consumo de MS (Saenger et al., 1982). Al respecto, Zorrilla-Rios et al. (1989) encontraron que la tasa de pasaje de sólidos a nivel ruminal, aún cuando no fue estadísticamente diferente, ésta fue de 2.4 y 4.2 % h⁻¹, para la paja testigo y la paja amoniatizada, respectivamente, y el tiempo medio de retención en el rumen fue significativamente mayor para la paja testigo (57.8 h) que para la paja amoniatizada (24.1 h). La mayor tasa de pasaje de los forrajes tratados químicamente, está influenciada entre otros factores, por el menor tamaño de partícula, provocado indirectamente, por el tratamiento químico. La amoniatización provoca mayor fragilidad de la paja, lo cual le confiere mayor susceptibilidad a fractura mecánica (Zorrilla-Rios et al., 1985) y consecuentemente, mayor tasa de reducción de las partículas durante la masticación y la rumia (Reid, 1979; citado por Zorrilla-Rios et al., 1985).

El mayor consumo de MS en las dietas 2, 3 y 4, ocasionó que el consumo de otras fracciones de estas dietas también se incrementara (P<0.01), en relación a la dieta testigo. El consumo promedio de MO, cenizas, FDN, FDA y lignina para las dietas 2 a 4 fue de 905, 235, 682, 421 y 87 g d⁻¹,

respectivamente, lo que representó un incremento en relación al testigo, de 20.7, 54.6, 18.8, 25.3 y 17.2% para las fracciones señaladas, respectivamente. El consumo de estas fracciones no difirió ($P>0.05$) entre las dietas que contenían los rastrojos tratados. El incremento sobresaliente en el consumo de cenizas en las dietas con el RM tratado químicamente, se atribuye por una parte, a que el contenido de cenizas en estas dietas fue 26.5% mayor (debido a la adición de NaOH), en comparación a la dieta testigo y por otra parte, al mayor consumo de MS en las dietas conteniendo el RM tratado químicamente. El mayor consumo de cenizas en las dietas 2 a 4, posiblemente involucró un mayor consumo de Na, lo cual podría tener varios efectos, tanto sobre la digestibilidad de la dieta, como sobre el comportamiento animal. Aunque existen evidencias de que el exceso de Na ingerido, es completamente excretado en la orina (Jackson, 1977), también se sabe que frecuentemente ocurren anomalías como orina alcalina, diuresis osmótica y hemoglobinuria, como consecuencia de la alimentación con pajas tratadas con hidróxidos (Ololade y Mowat, 1975; citados por Sánchez, 1976). En el presente estudio, se observó ligera irritación e inflamación de la mucosa del prepucio de los borregos, quizá como consecuencia de la alimentación con las dietas conteniendo el RM tratado con NaOH. También se observó mayor excreción de orina en los animales que consumieron el RM tratado con NaOH, aunque esto último no fue evaluado sistemáticamente. La mayor excreción de orina se debe a que la excreción del exceso de Na está regulada, principalmente, por cambios en la diuresis, ya

que el animal trata de mantener la homeostasis concentrando el Na en la orina y excretando mayor cantidad de orina (Stigsen, 1975; citado por Rexen y Bach-Knudsen, 1984).

El consumo de PC fue similar ($P > 0.05$) en los T1, T3 y T4 (131 g d^{-1}), siendo menor ($P < 0.05$) que en el T2 (146 g d^{-1}). Esto se atribuye a dos causas; diferencia en el consumo de MS entre el testigo y los otros tratamientos y diferencia en la concentración de PC en las dietas. El consumo de PC que sugiere el NRC (1985) para ovinos de 20 kg de peso vivo con un potencial de crecimiento moderado, es de 167 g d^{-1} , lo cual no fue obtenido en el presente estudio. Esto último se debió a que la concentración de PC en las dietas usadas en el presente estudio, fue inferior a la sugerida por el NRC (1985), ya que el consumo de MS observado en este trabajo coincide con el sugerido por el NRC (1985) para ovinos de peso vivo similar.

El consumo de hemicelulosa no difirió ($P > 0.05$) entre ninguna de las dietas, siendo en promedio de 257 g d^{-1} . Esta igualdad entre el testigo y las dietas 2 a 4, se puede explicar en función del mayor contenido de hemicelulosa pero menor consumo de MS en la dieta testigo y del mayor consumo de MS pero menor concentración de hemicelulosa en las dietas 2 a 4. El consumo de celulosa fue de 236, 287, 310 y 322 g , para las dietas 1 a 4, respectivamente. Estos valores representan incrementos ($P < 0.01$) de 21.6% en el T2 respecto al testigo, y de 33.9% en T3 y T4 respecto al testigo, siendo similares T3 y

T4 ($P > 0.05$). El T4 resultó superior ($P < 0.05$) al T2 en 12.2%. Estas diferencias entre tratamientos en el consumo de celulosa, se atribuyen a la diferencia en el consumo de MS y no se consideran resultado del efecto de ninguno de los tratamientos químicos, ya que la concentración de celulosa en las cuatro dietas fue prácticamente la misma. El consumo de lignina únicamente difirió ($P < 0.05$) entre el testigo y los otros tratamientos, con promedios de 74 y 87 g d⁻¹, respectivamente, como resultado también de la diferencia en el consumo de MS.

El mayor consumo de MS y de MO de pajas tratadas químicamente se puede atribuir a que el tiempo de retención en el rumen, tanto de la MO digestible como de la MO indigestible, se reduce significativamente (Saenger et al., 1982; Zorrilla-Rios et al., 1989). Al respecto, Meeske et al. (1993) observaron una disminución de 41 y 33% en el tiempo de retención de la MO en el rumen, para paja de trigo tratada con NaOH, y paja de trigo tratada con H₂O₂-alcalino, respectivamente, en comparación al tiempo de retención de la MO de la paja testigo. En el estudio de Meeske et al. (1993), el tiempo de retención de la MO en el rumen fue de 18.6, 10.8 y 12.5 h, para la paja testigo, paja tratada con NaOH y paja tratada con H₂O₂-alcalino, respectivamente, siendo similares las dos últimas. En cuanto al tiempo de retención de la MO indigestible, Meeske et al. (1993) reportan que fue de 32.7, 19.2 y 25.1 h para la paja testigo, tratada con NaOH y tratada con H₂O₂-alcalino, respectivamente, siendo significativamente

menor el tiempo de retención de la paja tratada con NaOH. El mayor consumo de MO resulta entonces de la combinación de una mayor digestibilidad de la MO y de una mayor tasa de pasaje (Meeske et al., 1993).

La digestibilidad aparente *in vivo* (DAV) de las diversas fracciones de la dieta se presenta en el Cuadro 12. La DAV de la MS, MO, FDN, FDA, hemicelulosa y celulosa fue superior ($P < 0.01$) en T2, T3 y T4 respecto a T1, resultando similares ($P > 0.05$) T2, T3 y T4. Los incrementos en la DAV considerando el promedio de los T2, T3 y T4, respecto al testigo, representaron para MS, 21.4%; para MO, 15.7%; para FDN, 16.5%; para FDA, 23.0%; para hemicelulosa, 10.9% y para celulosa 17.9%. El incremento en la DAV de la MS concuerda con el obtenido por Firkins et al. (1986), quienes encontraron un incremento de 21% en la digestibilidad de la MS del heno de pasto Prairie, debido a la amoniatización de este.

La DAV de la MO de las dietas 2 a 4 promedió 67.0%, lo cual está dentro del rango reportado por Willms et al. (1991), quienes obtuvieron porcentajes de digestibilidad aparente de la MO de 65.0 a 73.7%, con dietas conteniendo 67% de paja de trigo tratada con H_2O_2 -alcalino y diferentes fuentes de proteína ofrecidas a ovinos. Estos últimos autores mencionan que las características del fluido ruminal reflejan las diferencias en la digestibilidad de la MO, al encontrar menor concentración de ácidos grasos volátiles totales en la dieta que presentó la

CUADRO 12.

DIGESTIBILIDAD APARENTE in vivo DE DIVERSAS FRACCIONES DE LA DIETA EN EL EXPERIMENTO 4. (%)

DIGESTIBILIDAD DE:	T 1	T 2	T 3	T 4	EEM	P
	TESTIGO	NaOH + H2O2	NH3 + NaOH	NH3 + NaOH + H2O2		
MATERIA SECA	54.6 b	64.0 a	69.6 a	65.3 a	1.92	**
MATERIA ORGANICA	57.9 b	65.1 a	69.5 a	66.4 a	1.81	**
PROTEINA CRUDA	58.8	60.1	60.0	56.5	3.61	ns
F.D.N.	56.5 b	63.7 a	68.5 a	65.2 a	1.81	**
F.D.A.	48.8 b	57.7 a	63.0 a	59.4 a	2.48	**
HEMICELULOSA	68.0 b	73.8 a	77.5 a	75.0 a	1.71	**
CELULOSA	57.0 b	64.8 a	69.4 a	67.4 a	2.40	**

NaOH = Hidróxido de sodio; H2O2 = Peróxido de hidrógeno; NH3 = Amoniaco.

EEM = Error estandar de la media.

P = ** (P<0.01); ns = no significativo (P>0.05).

F.D.N = Fibra detergente neutro; F.D.A. = Fibra detergente ácido.

Distintas literales por renglón, indican diferencia (P<0.05).

menor digestibilidad de la MO. Por su parte, Kraiem et al. (1991) obtuvieron una mejoría de 13% en la digestibilidad *in vivo* de la MO de paja de trigo amoniatazada ofrecida a ovinos, lo cual es ligeramente inferior al aumento encontrado en el presente estudio (15.7%).

La DAV de la PC fue similar ($P > 0.05$) en todas las dietas, con un promedio de 58.9%. Esto sugiere que los tratamientos químicos al RM no afectaron la digestibilidad de la PC de la dieta. Existe discrepancia entre los resultados obtenidos en diferentes estudios respecto a la digestibilidad de la PC de dietas conteniendo pajas tratadas químicamente. Zorrilla-Ríos et al. (1989) encontraron en un experimento que la digestibilidad de la PC se incrementó (de 26 a 45%), debido a la amoniatazación de la paja, pero en otro experimento, dicha digestibilidad se redujo (de 71.2 a 54.3%) debido a la amoniatazación. Estos últimos autores señalan que en el segundo experimento, la amoniatazación incrementó la pérdida de N fecal, como consecuencia de una mayor velocidad de paso. Por su parte, Birkelo et al. (1986) encontraron una disminución en la DAV de la PC (de 67.8 a 53.5%) debido a la amoniatazación.

El aumento en el consumo y en la digestibilidad de los forrajes fibrosos, es uno de los efectos característicos de los tratamientos químicos. Zorrilla-Ríos et al., (1985) encontraron incrementos en la fragilidad, en la DIVMS, en la extensión de la desaparición *in situ* de la pared celular y en la tasa de

flujo de líquidos y sólidos, en paja de trigo amoniatazada y señalan que tales incrementos contribuyen al aumento en el consumo de dicha paja. Respecto al incremento en la digestibilidad, Kondo et al. (1992) mencionan que ocurre liberación o solubilización de los compuestos fenólicos de la pared celular de las pajas tratadas con álcalis y que dicha liberación puede ser la causante del incremento en la digestibilidad. Estos últimos autores señalan que el tratamiento con NH_3 provoca la solubilización de la lignina a nivel de los enlaces éter-ácido ferúlico, lo cual provoca a su vez, la liberación de la lignina.

La similitud ($P > 0.05$) tanto en el consumo, como en la digestibilidad entre las dietas 2 a 4 en el presente estudio, sugiere, por una parte, que el efecto de las diferentes combinaciones de agentes químicos usadas fue similar, y por otra, que la adición de H_2O_2 no mejoró el consumo ni la digestibilidad de las dietas.

El consumo de las fracciones químicas de la dieta considerando su DAV, es decir, el consumo de las fracciones digestibles, se presenta en el Cuadro 13. Estos resultados denotan el incremento real en el consumo de los nutrimentos digestibles, debido al efecto del tratamiento químico. El incremento ($P < 0.01$) en el consumo de MS digestible, fue en promedio de 50.5% en las dietas 2 a 4, en comparación a la dieta testigo. El consumo de MO digestible fue 43.1 y 9.7%

CUADRO 13.

CONSUMO DE LAS FRACCIONES DIGESTIBLES DE LA DIETA EN EL EXPERIMENTO 4.
(g/animal/día).

CONSUMO DE:	T 1	T 2	T 3	T 4	EEM	P
	TESTIGO	NaOH + H2O2	NH3 + NaOH	NH3 + NaOH + H2O2		
MATERIA SECA	501 b	718 a	796 a	749 a	25.2	**
MATERIA ORGANICA	441 c	575 b	631 a	609 ba	19.5	**
PROTEINA CRUDA	81	90	76	74	5.8	ns
F.D.N.	326 b	423 a	467 a	456 a	19.9	**
F.D.A.	168 b	236 a	263 a	257 a	13.0	**
HEMICELULOSA	167 b	187 ba	205 a	199 a	9.4	*
CELULOSA	137 c	186 b	214 a	217 a	9.4	**
EM (Mcal/día)	1.640 b	2.139 a	2.349 a	2.265 a	0.073	**

NaOH = Hidróxido de sodio; H2O2 = Peróxido de hidrógeno; NH3 = Amoniaco.

EEM = Error estandar de la media.

P = ** (P<0.01); * (P<0.05); ns = no significativo (P>0.05).

F.D.N = Fibra detergente neutro; F.D.A. = Fibra detergente ácido; EM = Energia metabolizable.

Distintas literales por renglón, indican diferencia (P<0.05).

mayor ($P < 0.01$) en el T3, en relación al testigo y al T2, respectivamente, sin ser diferentes ($P > 0.05$) T2 y T4, ni T3 y T4. El consumo de FDN digestible fue 37.7% mayor y el de FDA digestible 50.0% mayor en T2, T3 y T4, en comparación al testigo, siendo T2, T3 y T4 similares ($P > 0.05$) entre sí. El consumo de hemicelulosa digestible solo fue mayor en T3 y T4 en comparación al testigo, con un incremento de 21.0%. El consumo de celulosa digestible representó, proporcionalmente, el mayor incremento (57.7%) en T3 y T4 en relación al testigo; 216 vs. 137 g d⁻¹, respectivamente.

El consumo de EM (calculado con base en el consumo de MO digestible) fue similar ($P > 0.05$) entre las dietas 2 a 4, cuyo promedio fue de 2.251 Mcal d⁻¹, pero mayor al obtenido con la dieta testigo, que fue de 1.640 Mcal d⁻¹. Esta diferencia (0.611 Mcal d⁻¹) representó un incremento de 37.2%, respecto al testigo, lo cual concuerda con lo reportado por Moss et al. (1993), quienes obtuvieron un incremento de 0.578 Mcal de EM kg⁻¹ MS en la paja de trigo tratada con NaOH, respecto a la no tratada, aunque en el presente estudio también influyó el tratamiento con NH₃, a lo que puede atribuirse parcialmente el mayor valor obtenido en este estudio en relación al obtenido por Moss et al., (1993). Por su parte, Meeske et al. (1993) observaron un mayor consumo de EM por ovinos consumiendo dietas conteniendo 80% de paja de trigo tratada con NaOH o con H₂O₂-alcalino, en comparación con la dieta testigo.

Los cambios de peso, la conversión y la eficiencia alimenticias de los ovinos se presentan en el Cuadro 14. La ganancia diaria de peso (GDP) se incrementó ($P < 0.01$) de 78 g d⁻¹ en la dieta testigo, a un promedio de 161 g d⁻¹ en las dietas conteniendo el RM tratado, siendo estas últimas similares ($P > 0.05$) entre sí. La diferencia en la GDP representa un incremento de 106% en favor de las dietas conteniendo los rastrojos tratados químicamente. Diferencias aún mayores han sido encontradas por Koers et al. (1970); citados por Jackson (1977), quienes obtuvieron un incremento de 140% en la GDP (de 0.30 a 0.72 kg animal⁻¹ d⁻¹) de animales alimentados con dietas conteniendo olote de maíz tratado con 4% de NaOH más 1% de cloruro de potasio (KCl) y suplementadas con 20% de pasta de soya, minerales y vitaminas.

La GDP promedio con las dietas conteniendo el RM tratado, concuerda con la encontrada por Soriano et al. (1995), quienes reportan una GDP de 162 g d⁻¹ en borregos Pelibuey en crecimiento, alimentados con dietas conteniendo 30 y 60% de heno de pasto salado amoniatizado, sin embargo, la GDP en los borregos que consumieron las dietas conteniendo heno de pasto salado sin amoniatizar, fue de 126 g d⁻¹, lo que representa una diferencia de 29% en favor de las dietas con heno de pasto salado amoniatizado. La ganancia de peso ha sido casi invariablemente incrementada por los tratamientos alcalinos a las pajas (Braman y Abe, 1977; Kiangi y Kategile, 1981;

CUADRO 14.

CAMBIO DE PESO, GANANCIA DIARIA DE PESO, CONVERSION Y EFICIENCIA ALIMENTICIA DE LOS OVINOS EN EL EXPERIMENTO 4.

VARIABLE	T 1	T 2	T 3	T 4	EEM	P
	TESTIGO	NaOH + H2O2	NH3 + NaOH	NH3 + NaOH + H2O2		
PESO INICIAL, (kg)	20.9	21.8	20.4	20.9		
PESO FINAL PROMEDIO, (kg)	32.2					
G.D.P. (g/día)	77.5 b	146.9 a	162.5 a	173.8 a	17.3	**
CONVERSION ALIMENTICIA, (kg)	10.20	9.54	7.78	7.19	1.2	ns
EFICIENCIA ALIMENTICIA	0.107	0.123	0.134	0.143	0.0132	ns

NaOH = Hidróxido de sodio; H2O2 = Peróxido de hidrógeno; NH3 = Amoniaco.

EEM = Error estandar de la media.

P = ** (P<0.01); ns = no significativo (P>0.05).

G.D.P. = Ganancia diaria de peso.

Distintas literales por renglón, indican diferencia (P<0.05).

Herrera-Saldaña et al., 1982; Saenger et al., 1982; Alibes et al., 1984, Birkelo et al., 1986; Zorrilla-Rios et al., 1989).

La conversión y la eficiencia alimenticias fueron similares ($P > 0.05$) en todas las dietas, con promedios de 8.678 kg y 0.127, respectivamente. Esta similitud conduciría a suponer que la mayor respuesta productiva que se obtiene con dietas conteniendo pajas tratadas químicamente, no está asociada a la eficiencia de conversión del alimento, sino a un mayor consumo de nutrimentos digestibles. Sin embargo, es posible que ocurra una mayor eficiencia en la utilización de los nutrimentos consumidos cuando se alimenta con pajas tratadas, particularmente con NH_3 .

La reducción en el contenido de paredes celulares causada por los agentes químicos, resulta en el aumento de componentes solubles de la fracción fibrosa, los cuales pueden ser utilizados por el animal (Leal, 1989). Zorrilla-Rios et al. (1985) mencionan que la respuesta animal a las pajas tratadas, depende del balance entre el incremento en la tasa de digestión, el incremento en la tasa de pasaje en el rumen y el incremento en el consumo de energía y la reducción de la digestión del material que es removido más rápidamente. En el presente experimento, al igual que en el estudio realizado por Kerley et al. (1986), no se observó efecto detrimental en la digestibilidad, debido al mayor consumo de MS.

Una posible explicación de la mayor eficiencia con que son utilizados los nutrimentos de dietas conteniendo altas proporciones de pajas tratadas químicamente, particularmente con NH_3 , radica en que existe equilibrio en la disponibilidad de los compuestos que proporcionan energía y N a los microorganismos ruminales (Zorrilla-Ríos et al., 1985; Aguilera, 1988). Al respecto, Saenger et al. (1985) mencionan que la utilización del N de pajas amoniatizadas, ocurre simultáneamente a la utilización de la fibra. Por su parte, Birkelo et al. (1986) señalan que ocurre una menor pérdida de energía fecal y urinaria en los animales que consumen pajas amoniatizadas, lo cual, resulta en un mejor balance energético, en comparación al que se observa en animales que consumen pajas sin tratar.

DISCUSION GENERAL

En el experimento 1 (como resultado de la interacción entre álcalis y H_2O_2) aún cuando el tratamiento con $NaOH + H_2O_2$ redujo el contenido de paredes celulares e incrementó la DIVMS y la DIVMO, en comparación al tratamiento con $NaOH$, el tratamiento con NH_3 produjo una respuesta similar. Esto sugiere que, considerando las ventajas del tratamiento con NH_3 , como son el incremento en el contenido de N de la paja tratada y la ausencia de los inconvenientes que provoca el exceso de Na, tanto en el organismo animal, como en el medio ambiente, el uso del NH_3 es más benéfico que el uso del $NaOH + H_2O_2$. Tomando en consideración que la DIVFDN a 72 h fue superior con el tratamiento $NH_3 + H_2O_2$, sería deseable que ésta última combinación hubiera disminuido también la FDN e incrementado la DIVMS y la DIVMO, sin embargo, como se observó en el experimento 2, aún con la adición de un nivel bajo de $NaOH$ (2.5%), no fue posible establecer un pH inicial óptimo para la acción del H_2O_2 , en combinación con el tratamiento con H_2O_2 .

En el experimento 2, aún cuando la FDN se redujo en proporción directa al nivel de álcali empleado, denotando un efecto aditivo de ambos álcalis ($NH_3 + NaOH$), la DIVMS y la DIVMO no mejoraron con los niveles mayores de estos agentes químicos. Sin embargo, la DIVFDN a 72 h se incrementó al aumentar el nivel de ambos álcalis. En este experimento (2) no fue posible atribuir efecto alguno al H_2O_2 , ya que la

realización de los experimentos 1 y 2 fue simultánea, por lo que se desconocía la respuesta que se obtendría en el experimento 1.

Los resultados del experimento 3 no evidenciaron beneficios sobresalientes al adicionar levaduras, minerales, melaza o urea al RM pretratado químicamente, en términos de mejoría de la composición química o la digestibilidad *in vitro*. Aunque la digestibilidad de la MS, MO y FDN obtenida en este experimento fue superior a la obtenida en los experimentos 1 y 2, la magnitud del incremento en la digestibilidad, debido al tratamiento químico, fue similar.

En el experimento 4, a pesar del elevado consumo de las dietas conteniendo el RM tratado químicamente, no se observó efecto detrimental en la digestibilidad de la MS ni de las fracciones fibrosas, aún cuando se sabe que la digestión ruminal puede ser afectada negativamente por una elevada presión osmótica. Normalmente, la presión osmótica ruminal es de aproximadamente 280 miliosmoles kg^{-1} , la cual, se incrementa al existir altas concentraciones de ácidos grasos volátiles, así como por la presencia de cantidades elevadas de minerales. Cuando la presión osmótica es mayor a 400 miliosmoles kg^{-1} , disminuye la degradación de la celulosa, así como también el consumo de alimento (Durand y Kawashima, 1980). Puede suponerse entonces, que la cantidad de Na que existió en el rumen de los

borregos consumiendo el RM tratado con NaOH, estuvo por debajo del límite máximo tolerable.

Las ganancias de peso parecen indicar que es posible obtener una respuesta productiva aceptable (161 g día^{-1}) en ovinos en crecimiento que consumen dietas conteniendo 65.0% de RM tratado químicamente, aún cuando estas dietas contengan un nivel relativamente bajo de PC; desde 10.46% de PC. Sin embargo, sería necesario considerar los ingredientes que constituyen el 35.0% de concentrado en dichas dietas.

No se observó efecto benéfico al adicionar H_2O_2 al RM previamente tratado con NaOH, NH_3 o NaOH + NH_3 , en el consumo de nutrimentos digestibles ni en la ganancia de peso.

En general, la magnitud de los cambios en la composición química del RM (cenizas, N, FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina) y la magnitud de los incrementos en la digestibilidad (tanto *in vitro*, como *in vivo*) obtenidos en el presente estudio, debidos al tratamiento con NH_3 y NaOH, concuerdan con lo reportado en otros estudios relacionados con el tratamiento químico de forrajes fibrosos con estos álcalis. Sin embargo, la respuesta al tratamiento con H_2O_2 , difirió de lo encontrado en la mayoría de los estudios relacionados con este agente químico.

CONCLUSIONES

EXPERIMENTO 1.

La aplicación de ambos álcalis incrementó el pH inicial del rastrojo tratado, sin embargo, cuando se usó NH_3 , el pH inicial fue inferior al considerado como óptimo para la acción del H_2O_2 , por lo que los cambios que ocurrieron en el rastrojo tratado con $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$, se atribuyeron únicamente al efecto del NH_3 .

Indistintamente, todos los tratamientos químicos disminuyeron el contenido de FDN y de hemicelulosa e incrementaron la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y FDN. Los tratamientos químicos no provocaron cambios en la FDA, celulosa y lignina.

Tanto la disminución de la FDN, como el incremento en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y de la materia orgánica, estuvieron asociados a una interacción en la que la adición de H_2O_2 fue de utilidad solo cuando se usó NaOH. Por el contrario, la digestibilidad de la FDN a 72 h, estuvo asociada a una interacción en la que la adición de H_2O_2 no fue de utilidad cuando se usó NaOH, sino NH_3 . Sin embargo, esta última respuesta no puede atribuirse al efecto del H_2O_2 , ya que el pH del rastrojo tratado con $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ no fue favorable para la acción del H_2O_2 .

EXPERIMENTO 2.

El nivel bajo de NaOH no fue suficiente para obtener un pH mayor de 11.5, ni coadyuvó para que el NH_3 alcanzara este punto de pH.

El pH fue menor de 11.5 en un lapso menor a 1 h después de aplicar el tratamiento químico, lo que sugiere que el tiempo de reacción del H_2O_2 sobre la lignina fue muy reducido.

Los niveles altos de ambos álcalis tuvieron el mayor efecto en la disminución de la FDN y aparentemente existió un efecto aditivo de ambos álcalis.

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca y de la materia orgánica, no se afectó por el nivel de los álcalis, pero la digestibilidad *in vitro* de la FDN a 72 h mejoró a medida que aumentó el nivel de ambos álcalis.

EXPERIMENTO 3.

La adición de levaduras, minerales, melaza o urea al rastrojo de maíz pretratado químicamente, no mejoró la composición química de este, medida en función de su contenido de proteína verdadera.

Los cambios en las fracciones de fibra que ocurrieron en los tratamientos en los que se adicionaron levaduras, minerales, melaza o urea, fueron de reducida magnitud, en comparación al cambio propiciado por el tratamiento químico.

El incremento en la digestibilidad de la materia seca y de la materia orgánica, propiciado por la adición de levaduras, minerales y melaza, también fue pequeño, en comparación al provocado por el tratamiento químico, y la digestibilidad de la FDN a 72 h, no se incrementó respecto al tratamiento químico.

La adición de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*), minerales, melaza y urea, al rastrojo de maíz pretratado químicamente, no parece ser benéfica para mejorar su composición química ni su digestibilidad *in vitro*.

EXPERIMENTO 4.

El uso de H_2O_2 aplicado mediante aspersión al rastrojo de maíz previamente tratado con NaOH o con $NH_3 + NaOH$, no incrementó el consumo ni la digestibilidad aparente *in vivo* de dietas conteniendo 65% (BS) de rastrojo de maíz tratado.

Aún cuando ocurrió un mayor consumo de materia seca con las dietas conteniendo el rastrojo tratado, no se observó disminución de la digestibilidad de la materia seca ni de la digestibilidad de las fracciones fibrosas de la dieta, pues tanto el consumo como la digestibilidad, se incrementaron debido al tratamiento químico del rastrojo de maíz.

Es posible obtener ganancias de peso satisfactorias en ovinos en crecimiento alimentados con dietas conteniendo 65.0% de rastrojo de maíz tratado con NaOH o con $NH_3 + NaOH$, aún cuando estas dietas contengan un nivel relativamente bajo de proteína cruda.

REFERENCIAS

- Adebowale, E. A., Ørskov, E. R. and Hotten, P. M. 1989. Rumen degradation of straw. 8. Effect of alkaline hydrogen peroxide on degradation of straw using either sodium hydroxide or gaseous ammonia as source of alkali. *Anim. Prod.* 48: 553-559.
- Agricultural Research Council (ARC). 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough, England, U.K. 351 p.
- Aguilera, B.A. 1988. Evaluación del efecto de la suplementación de rastrojo amoniatizado sobre la cinética ruminal y digestibilidad en borregos Pelibuey. Tesis de Maestría. UNAM-FES-C.
- Aguilera, B.A., Jurado, A.J., Juárez, S.M.E., Pérez-Gil, R.F. y Alcántara, S.E. 1990. Condiciones óptimas para incrementar la digestibilidad de la paja de trigo en ovinos mediante tratamientos con amoníaco anhidro e hidróxido de calcio. *Vet. Mex.* 21(1):9-15.
- Aguilera, A., Gutierrez, H.A., Alcantara, E., Perez-Gil, F. and Shimada, A. 1991. Alkali treatment of maize straw. I. Effect on in vivo and in vitro digestibility and in situ disappearance in sheep. *Cuban J. Agric. Sci.* 12: 51-60.
- Akin, D.E., Burdick, D. and Michaels, G.E. 1974. Rumen bacterial interrelationships with plant tissue during degradation revealed by transmission electron microscopy. *Appl. Microbiol.* 27:1149-1156.
- Akin, D.E. 1979. Microscopic valuation of forage digestion by rumen microorganisms - a review. *J. Anim. Sci.* 48:701-710.
- Alibes, X., Muñoz, F. and Faci, R. 1984. Anhydrous ammonia-treated cereal straw for animal feeding. Some results from the Mediterranean area. *Anim. Feed Sci. Technol.* 10:239-246.
- Amjed, M., Jung, H.G. and Donker, J.D. 1992. Effect of alkaline hydrogen peroxide treatment on cell wall composition and digestion kinetics of sugarcane residues and wheat straw. *J. Anim. Sci.* 70: 2877-2884.
- Arias, N.J. 1992. La biotecnología en la alimentación animal. 1^{er} Simposio Internacional sobre Alternativas y Estrategias en Producción Animal. Chapingo, México. p. 1-28.

- Association of Official Analytical Chemists. (A.O.A.C.). 1980. Official methods of analysis. 13th Ed., Washington, D.C.
- Atwell, D.G., Merchen, N.R., Jaster, E.H., Fahey, G.C. Jr. and Berger, L.L. 1991. Intake and digestibility of alkaline hydrogen peroxide-treated wheat straw-alfalfa hay combinations fed to sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 71: 371-378.
- Bargalló, A.M. 1972. Tratado de química inorgánica. 2a. Ed. Editorial Porrúa S.A. México, D.F. 1153 p.
- Bas, F.J., Stern, M.D. and Merchen, N.R. 1989. Influence of protein supplementation of alkaline hydrogen peroxide-treated wheat straw on ruminal microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 72: 1217.
- Beever, D.E., Osbourn, D.F., Cammell, S.B. and Terry, R.A. 1981. The effect of grinding and pelleting on the digestion of Italian ryegrass and timothy by sheep. *Brit. J. Nutr.* 46:357
- Bhargava, P.K., Ørskov, E.R. and Walli, T.K. 1988. Rumen degradation of straw. 4. Selection and degradation of morphological components of barley straw by sheep. *Anim. Prod.* 47:105-110.
- Bhargava, P.K., Ørskov, E.R. and Walli, T.K. 1989. Effect of soaking, ensilage and hydrogen peroxide treatment of barley straw on rumen degradability. *Anim. Feed Sci. Technol.* 22: 295-303.
- Birkelo, C.P.; Johnson, D.E. and Ward, G.M. 1986. Net energy value of ammoniated wheat straw. *J. Anim. Sci.* 63:2044-2052.
- Borhami, B.E.A. and Sundstøl, F. 1982. Studies on ammonia-treated straw. I. The effects of type and level of ammonia, moisture content and treatment time on the digestibility in vitro and enzyme soluble organic matter of oat straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 7: 45-51.
- Braman, W.L. and Abe, R.K. 1977. Laboratory and *in vivo* evaluation of the nutritive value of NaOH treated wheat straw. *J. Anim. Sci.* 46:496-505.
- Brock, D.T., Smith, W.D. and Madigan, T.N. 1984. Biology of microorganisms. 4th. Ed. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, N.Y. U.S.A. 847 p.
- Butterworth, B. 1985. Straw Feeding. Chapter 5 in: The straw manual. E.& F.N. Spon. London, U.K. pp. 137-180.

- Cameron, M.G., Cremin, J.D.Jr., Fahey, G.C.Jr, Clark, J.H., Berger, L.L. and Merchen, N.R. 1991. Chemically treated oat hulls in diets for dairy heifers and wethers: Effects on intake and digestion. *J. Dairy Sci.* 74:190-201.
- Castañeda, F.E.A. y Monroy, A.V.J. 1984. Métodos de procesamiento de subproductos agrícolas para elevar su valor nutricional, en: Memoria del Seminario Utilización de Subproductos Agroindustriales en la Alimentación de Rumiantes. Centro de Ganadería. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Castro, F.B., Hotten, P.M. and Ørskov, E.R. 1993. The potential of dilute-acid hydrolysis as a treatment for improving the nutritional quality of industrial lignocellulosic by-products. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 42:39-53.
- Cecava, M.J., Merchen, N.R., Berger, L.L. and Fahey, G.C.Jr. 1990. Intestinal supply of amino acids in sheep fed alkaline hydrogen peroxide-treated wheat straw-based diets supplemented with soybean meal or combinations of corn gluten meal and blood meal. *J. Anim. Sci.* 68: 467-477.
- Chandra, S. and Jackson, M.G. 1971. A study of various chemical treatments to remove lignin from coarse roughages and increase their digestibility. *J. Agric. Sci. Camb.* 77:11-17.
- Cherney, D.J.R., Siciliano-Jones, J. and Pell, A.N. 1993. Technical note: Forage in vitro dry matter digestibility as influenced by fiber source in the donor cow diet. *J. Anim. Sci.* 71:1335-1338.
- Chesson, A. 1981. Effect of sodium hidroxide on cereal straws in relation to the enhanced degradation of structural polysaccharides by rumen microorganisms. *J. Sci. Food Agric.* 32:745-758.
- Chesson, A. 1988. Lignin-polysaccharide complexes of plant cell wall and their effect on microbial degradation in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 21:219-228.
- Chomyszyn, M. and Ziologica, A. 1972. Utilisation of ammoniated feeds in ruminant nutrition, in: Tracer Studies on Non-Protein Nitrogen for Ruminants. I.A.E.A., Viena/FAO, pp. 155-161.
- Colucci, E.C.P. 1984. Comparative digestion and digesta kinetics in sheep and Cattle. Doctor of Philosophy Thesis. University of Guelph.
- Coughlan, M.P. 1991. Mechanisms of cellulose degradation by fungi and bacteria. *Anim. Feed Sci. Technol.* 32:77-100.

- Dewey, D.Y.R. 1989. Enhancement of nutritional value of cellulosic feed resources by pretreatment and bioconversion, en: *Biothecnology for livestock production*. Chapter 22. FAO. USA. p. 223-243.
- Dixon, R.M. (Editor). 1986. Ruminant feeding systems utilizing fibrous agricultural residues. Proc. of the 5th. Annual Workshop of the Australian-Asian Fibrous Agricultural Residues Research Network. Balai Penelitian Temak, Ciawi Bogor.
- Domingue, B.M.F., Dellow, D.W. and Barry, T.N. 1991. Voluntary intake and rumen digestion of a low-quality roughage by goats and sheep. *J. Agric. Sci.* 117:111-120.
- Durand, M. and Kawashima, R. 1980. Influence of minerals in rumen microbial digestion, In: Ruckebusch, Y. and Thivend, P. (Eds.). *Digestive physiology and metabolism in ruminants. Proceedings of the fifth international symposium on ruminant physiology*. pp.375-407.
- Elias, A., Orquidea Lezcano, P. Lezcano, J. Cordero y L. Quintana. 1990. Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento protéico de la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido (Saccharina). *Rev. Cub. de Cienc. Agr.* 24(1): 1-11.
- Fan, L.T., Lee, Y.H. and Beardmore, D.H. 1980. Mechanisms of the enzymatic hydrolysis of cellulose: Effects of major structural features of cellulose on enzymatic hydrolysis. *Biotechnol. Bioeng.* 22: 177-199.
- Feist, W.C., Baker, A.J. and Tarkow, H. 1970. Alkali requirements for improving the digestibility of hardwoods by rumen micro-organisms. *J. Anim. Sci.* 30:832-835.
- Fenton, T.W. and Fenton, M. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. *Can. J. Anim. Sci.* 59: 631.
- Firkins, J.L., Berger, L.L., Merchen, N.R. and Fahey, G.C.Jr. 1986. Effects of forage particle size, level of feed intake and supplemental protein degradability on microbial protein synthesis and site of nutrient digestion in steers. *J. Anim. Sci.* 62:1081-1094.
- Flachowsky, G. and Sundstøl, F. 1988. Effect of NaOH and H₂O₂ on the degradability of straw in ruminants. *Arch. Anim. Nutr.* Berlin, 38(10):955-964.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. UNAM. México D.F.

- Girard, V. and Dupuis, G. 1988. Effect of structural and chemical factors of forages on potentially fiber intake, and true digestibility by ruminants. *Can. J. Anim. Sci.* 68:787-799.
- Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis, (Apparatus, reagents, procedures and some applications). ARS, USDA Agr. Handbook No. 379.
- Goto, M., Yokoe, Y., Takabe, K., Nisikawa, S. and Morita, O. 1993. Effects of gaseous ammonia on chemical and structural features of cell walls in spring barley straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 40: 207-221.
- Gould, J.M. 1984. Alkaline peroxide delignification of agricultural residues to enhance enzymatic saccharification. *Biotechnol. Bioeng.* 26: 46-52.
- Gould, J.M. 1985. Studies on the mechanism of alkaline peroxide delignification of agricultural residues. *Biotechnol. Bioeng.* 27: 225-231.
- Han, Y.W. 1975. Microbial fermentation of rice straw nutritive composition and in vitro digestibility of the fermentation products. *Appl. Microbiol.* 29:210-514.
- Hernández, C.R. 1992. Alimentos producidos a partir de la caña de azúcar. *Apuntes de Sistemas de Producción de Bovinos Lecheros.* pp. 13-26. U.A.CH. Chapingo, México
- Herrera-Saldaña, R., Church, D.C. and Kellems, R.O. 1982. The effect of ammoniation treatment on intake and nutritive value of wheat straw. *J. Anim. Sci.* 54:603-608.
- Homb, T. 1984. Wet treatment with sodium hydroxide, en: *Straw and other fibrous by-products as feed.* (Sundstøl, F. and Owen, E. Eds.) Elsevier Science Publishing Company Inc. pp. 106-126.
- Jackson, M.G. 1977. A review article: The alkali treatment of straw. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 2: 105-130.
- Jackson, M.G. 1978. Métodos de tratamiento de la paja para la alimentación animal; evaluación de su viabilidad técnica y económica. Estudio FAO: Producción y sanidad animal. No. 10. Roma, Italia.
- Jaster, E.H. and Murphy, M.R. 1983. Effects of varying particle size of forage on digestion and chewing behavior of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 66:802.

- Jiménez, D.A. y Shimada, A.S. 1983. Comportamiento del borrego Pelibuey en crecimiento, alimentado en base a rastrojo de maíz tratado con álcalis (NH₃, NaOH, Urea). Memorias de la Reunión de Investigación Pecuaria en México. p. 692.
- Jung, H.G. and Fahey, G.C. Jr. 1983. Nutritional implication of phenolic monomers and lignin: A review. *J. Anim. Sci.* 57:206-219.
- Jung, H.G. and Vogel, K.P. 1986. Influence of lignin on digestibility of forage cell wall material. *J. Anim. Sci.* 62:1703-1712.
- Jung, H.G., Valdez, F.R., Abad, A.R., Blanchette, R.A. and Hatfield, R.D. 1992. Effect of white rod basidiomycetes on chemical composition and *in vitro* digestibility of oat straw and alfalfa stems. *J. Anim. Sci.* 70:1928-1935.
- Kaneshiro, T. 1977. Lignocellulosic agricultural wastes degraded by *Pleurotus ostreatus*. *Develop. Ind. Microbial.* 18:591-597.
- Kerley, M.S., Fahey, G.C. Jr., Berger, L.L., Merchen, N.R. and Gould, J.M. 1986. Effects of alkaline hydrogen peroxide treatment of wheat straw on site and extent of digestion in sheep. *J. Anim. Sci.* 63: 868-878.
- Kerley, M.S., Fahey, G.C. Jr., Berger, L.L., Merchen, N.R. and Gould, J.M. 1987. Effects of treating wheat straw with pH-regulated solutions of alkaline hydrogen peroxide on nutrient digestion by sheep. *J. Dairy Sci.* 70: 2078-2084.
- Kerley, M.S., Garleb, K.A., Fahey, G.C. Jr., Berger, L.L., Moore, K.J., Phillips, G.N., and Gould, J.M. 1988. Effects of alkaline hydrogen peroxide treatment of cotton and wheat straw on cellulose crystallinity and on composition and site and extent of disappearance of wheat straw cell wall phenolics and monosaccharides by sheep. *J. Anim. Sci.* 66: 3235-3244.
- Kiangi, E.M.I., Kategile, J.A. y Sundstøl, F. 1981. Different sources of ammonia for improving the nutritive value of low quality roughages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 6: 377-386.
- Klopfenstein, T.J., Krause, V.E., Jones, M.J. and Walter, W. 1972. Chemical treatment of low quality roughages. *J. Anim. Sci.* 35:418.
- Klopfenstein, T. 1978. Chemical treatment of crop residues. *J. Anim. Sci.* 46 (3): 841-848.

- Koers, W., Woods, W. and Klopfenstein, T.J. 1970. Sodium hydroxide treatment of corn stover and cobs. *J. Anim. Sci.* 26:1402 (Abstract).
- Kondo, T., Ohshita, T. and Kyuma, T. 1992. Comparison of characteristics of soluble lignins from untreated and ammonia-treated wheat straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 39:253-263.
- Kraiem, K., Abdouli, H. and Goodrich, R.D. 1991. Comparison of the effects of urea and ammonia treatments of wheat straw on intake, digestibility and performance in sheep. *Livestock Prod. Sci.* 29:311-321.
- Latham, M.J., Hobbs, D.G. and Harris, P.J. 1979. Adhesion of rumen bacteria to alkali-treated plant stems. *Ann. Rech. Vet.* 10:244-345.
- Leal, P.M. 1989. Efecto de los pretratamientos químicos sobre la composición del rastrojo de sorgo. Tesis de Maestría. FES-C, UNAM.
- Lewis, S.M., Holzgraefe, D.P., Berger, L.L., Fahey, G.C. Jr., Gould, J.M. and Fanta, G.F. 1987a. Alkaline hydrogen peroxide treatment of crop residues to increase ruminal dry matter disappearance in sacco. *Anim. Feed Sci. Technol.* 17: 179-199.
- Lewis, S.M., Kerley, M.S., Fahey, G.C. Jr., Berger, L.L. and Gould, J.M. 1987b. Use of alkaline hydrogen peroxide-treated wheat straw as an energy source for the growing ruminant. *Nutr. Rep. Int.* 35:1093.
- Llamas, L.G. 1981. Ammonia treatment of wheat straw and protein supplementation of crop residues for the beef cow. M.Sc. Thesis. University of Nebraska.
- Llamas, L.G. and Combs, D.K. 1990. Effects of environmental temperature and ammoniation on utilization of straw by sheep. *J. Anim. Sci.* 68: 1719-1725.
- Males, J.R. and Gaskins, C.T. 1982. Growth, nitrogen retention, dry matter digestibility and ruminal characteristics associated with ammoniated wheat straw diets. *J. Anim. Sci.* 55(3):505-515.
- Marcoff, A.C.F. 1992. La utilización de la caña de azúcar y sus subproductos en la alimentación animal. 1^{er} Simposio Internacional sobre Alternativas y Estrategias en Producción Animal. Chapingo, México. p. 44-78.
- Meeske, R. Meissner, H.H. and Pienaar, J.P. 1993. The upgrading of wheat straw by alkaline hydrogen peroxide treatment: The effect of NaOH and HO on the site and extent of digestion in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 40: 121-133.

- Merchen, N.R. 1988. Digestion, absorption and excretion in ruminants, en: Church, D.C., Editor. The ruminant animal, digestive physiology and nutrition. Prentice Hall Ed. USA. p. 172-201.
- Mertens, D.R. 1977. Dietary fiber components: relationships to rate and extent of ruminal digestion. Fed. Proc. 36:187-192.
- Mertens, D.R. and Lofton, J.R. 1980. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics in vitro. J. Dairy Sci. 63: 1437-1446.
- Minson, D.J. and McLeod, M.N. 1972. The in vitro technique; its modification for large number of tropical pastures samples. Division of tropical pastures, technical paper No. 8, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Australia.
- Morris, P.J. and Mowat, D.N. 1980. Nutritive value of ground and/or ammoniated corn stover. Can. J. Anim. Sci. 60: 327-336.
- Moss, R. A., Givens, D.I. and Furniss, S. 1993. A comparison of farm-scale methods of application of sodium hydroxide on the nutritive value of a winter wheat straw. Anim. Feed Sci. and Tech. 41:199-212.
- N'gambi, J.W.W. and Campling, R.C. 1991. Effects of sodium hydroxide and of energy and protein supplements on the voluntary intake and digestibility of barley, oat and wheat straw by cattle. J. Agric. Sci. 117:251-256.
- National Research Council (NRC). 1985. Nutrient requirements of sheep. 6th Revised Edition. National Academy Press. Washington, D.C. 99 p.
- Oji, U.I. and Mowat, D.N. 1978. Nutritive value of steam-treated corn stover. Can. J. of Anim. Sci. 58:177-181.
- Ololade, B.G. and Mowat, D.N. 1975. Influence of whole-plant barley reconstituted with sodium hydroxide on digestibility, rumen fluid and plasma metabolism of sheep. J. Anim. Sci. 40:351.
- Owens, F.N. and Goetsch, A.L. 1984. Digesta passage and microbial protein synthesis, In: Milligan, L.P., Grovum, W.L. and Dobson (Eds.) Control of digestion and metabolism in ruminants. Proceedings of the sixth international symposium on ruminant physiology.
- Paterson, A. 1989. Biodegradation of lignin and cellulosic materials, en: Biotechnology for livestock production. Chapter 22. FAO. USA. p. 245-261.

- Reid, L.S.W., A. John, M.J. Ulyatt, G.C. Waghorn and L.P. Milligan. 1979. Chewing and the physical breakdown of feed in sheep. *Ann. Rech. Vet.* 10:205.
- Rexen, F.P. and Bach-Knudsen, K.E. 1984. The influence of NaOH on mineral metabolism and the health of the animals. Section 12.5.3, Chapter 12; Digestibility, nutritive value and feed intake, by Jim W.G. Nicholson, in: Straw and other fibrous by-products as feed. Sundstøl, F. and Owen, E. (Eds.) Elsevier Science Publishing Company Inc..
- Rodriguez, G.F., Zorrilla, R.J.M., Muñoz, N.C. y Arellano, M.L. 1985. Efectos de tratamiento con hidróxido de amonio y urea, humedad y tiempo en la composición de la paja de frijol. *Tec. Pec. Mex.* 49: 42-49.
- Rodriguez, G.F. y Llamas, L.G. 1990. Digestibilidad, balance de nutrimentos, y patrones de fermentación ruminal. Cap. VI en: Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología. Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México A.C.
- Romero, B.J.O. y Orcasberro, G.R. 1985. Tratamientos biológicos para mejorar el valor nutritivo de los residuos lignocelulósicos. *Chapingo.* 10(47):252-257.
- Rowland, S.P. 1975. Selected aspects of structure and accessibility of cellulose as they related to hydrolysis. *Biotechnol. Bioeng. Symp.* 5: 183.
- Saenger, P.F., Lemanger, R.P. and Hendrix, K.S. 1982. Anhydrous ammonia treatment of corn stover and its effects on digestibility, intake and performance of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 54:419-425.
- Sánchez, E.J. 1976. Cambios en la composición química y digestibilidad de forrajes de baja calidad nutritiva, mediante el uso de diversos compuestos químicos. *Tec. Pec. Mex.* 4(31):68-74.
- SARH. 1986. Dirección de Alimentación Animal y Recursos Forrajeros. Dirección General de Normatividad Pecuaria. México, D.F.
- Shimada, M. A. 1987. Pretratamientos alcalinos de residuos fibrosos y su valor nutritivo para rumiantes. III Congr. Nal. de la A.M.E.N.A. pp. 61-77.
- Silva, A.T. and Ørskov, E. R. 1988. Fibre degradation in the rumens of animals receiving hay, untreated or ammonia-treated straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 19:277-287.

- Soriano, T.J., Martínez, A.A. y Shimada, M.A.S. 1995. Tratamiento de heno de pasto salado *Distichlis spicata* con amonio anhidro para borregos Pelibuey en crecimiento. Tec. Pecu. Mex. 33(1):43-47.
- Smith, L.W., Goering, H.K. and Gordon, C.H. 1972. J. Dairy Sci. 55:1140.
- Statistical Analysis System (SAS). 1985. SAS User's Guide: Basics and Statistics. SAS Institute, Cary, N.C.
- Steel, R.G.D. y Torrie, J.H. 1988. Bioestadística, principios y procedimientos. 2ª Edición. Ed. McGraw Hill.
- Sultan, J.I., Fluharty, F.L., Firkins, J.L. and Loerch, S.C. 1992. Effects of supplemental protein source and alkaline hydrogen peroxide treatment of wheat straw on site of nutrient digestion and flow of nitrogenous compounds to the duodenum of steers. J. Anim. Sci. 70:3909-3915.
- Sundstøl, F., Coxworth, E. and Mowat, D.N. 1978. Improving the nutritive value of straw and other low-quality roughages by treatment with ammonia. World Anim. Rev. 26: 13-21.
- Sundstøl, F. 1984. Ammonia treatment of straw: methods for treatment and feeding experience in Norway. Anim. Feed Sci. Technol. 10: 173-187.
- Sundstøl, F. and Owen, E. (Eds.) 1984. Straw and other fibrous by-products as feed. Elsevier Science Publishing Company Inc. 600 pp.
- Tamminga, S. and Van Vuuren, A.M. (1988). Formation and utilization of end products of lignocellulose degradation in ruminants. Anim. Feed Sci. Technol. 21:141-159.
- Tarkov, H. and Feist, W.C. 1969. A mechanism for improving the digestibility of lignocellulosic materials with dilute alkali and liquid ammonia. Amer. Chem. Soc. Adv. Chem. 95:107.
- Tejada de H., I. 1992. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. Sistema de Educación Continua en Producción Animal A. C.
- Thiago, L.R.L. de S. and Kellaway, R.C. 1982. Botanical composition and extent of lignification affecting digestibility of wheat and oat straw and paspalum hay. Anim. Feed Sci. Technol. 7:71-81.
- Tilley, J.M.A. and Terry, R.A. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Brit. Grassl. Soc. 18:104.

- Uden, P., Colucci, E.P. and Van Soest, P.J. 1980. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta, rate of passage studies. *J. Sci. Food Agric.* 31: 625-632.
- Van Soest, P.J. 1983. Nutritional ecology of the ruminant. O & B Books, Inc. Corvallis, Oregon.
- Van Soest, P.J., Mascarenhas F.A. and Hartley, R.D. 1984. Chemical properties of fiber in relation to nutritive quality of ammonia treated forages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 10: 155-164.
- Wanapat, M., Sundstøl, F. and Garmo, T.H. 1985. A comparison of alkali treatment methods to improve the nutritive value of straw. I. Digestibility and metabolizability. *Anim. Feed Sci. Technol.* 12: 295-309.
- Wang, P.Y., Bolker, H.I. and Purves, C.B. 1964. Ammonolysis of uronic ester groups in birch xylan. *Can. J. Chem.* 42:2434.
- Wilson, R.K. and Pigden, W.J. 1964. Effect of a sodium hydroxide treatment on the utilization of wheat straw and poplar wood by rumen microorganisms. *Can. J. Anim. Sci.* 44:122-123.
- Willms, C.L., Berger, L.L., Merchen, N.R. and Fahey, G.C.Jr. 1991. Effects of supplemental protein source and level of urea on intestinal amino acid supply and feedlot performance of lambs fed diets based on alkaline hydrogen peroxide-treated wheat straw. *J. Anim. Sci.* 69:4925-4938.
- Zorrilla-Rios, J., Owens, F.N., Horn, G.W. and McNew, R.W. 1985. Effect of ammoniation of wheat straw on performance and digestion kinetics in cattle. *J. Anim. Sci.* 60(3):814-821.
- Zorrilla-Rios, J., Horn, G.W. and McNew, R.W. 1989. Effect of ammoniation and energy supplementation on the utilization of wheat straw by sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 22:305-320.

APENDICE I

PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LA DIGESTIBILIDAD *in vitro* DE LA FIBRA DETERGENTE NEUTRO, TASA DE DIGESTION Y TIEMPO LAG (Mertens y Loften, 1980).

El modelo utilizado fue:

$$R = D_0 e^{-k(t-L)} + U$$

donde;

R = FDN residual al tiempo t, después de la inoculación,

D_0 = Fracción digestible,

k = Tasa constante de digestión,

L = Tiempo lag,

U = Fracción indigestible

Nota: Los cálculos que se presentan enseguida corresponden al tratamiento 1 del experimento 1.

1) Determinación de FDN posterior a la digestión *in vitro* a 12, 24, 48 y 72 h. (La FDN a 0 h correspondió a la FDN del rastrojo sin digerir).

FDN a 0 h (FDN_0) = 78.24%

FDN a 12 h (FDN_{12}) = 74.85%

FDN a 24 h (FDN_{24}) = 61.92%

FDN a 48 h (FDN_{48}) = 37.16%

FDN a 72 h (FDN_{72}) = 30.47%

2) DIGESTIBILIDAD *in vitro* DE LA FDN (DIVFDN).

$DIVFDN_{12} = [(FDN_0 - FDN_{12})/FDN_0] * 100 = 4.33\%$

$DIVFDN_{24} = [(FDN_0 - FDN_{24})/FDN_0] * 100 = 20.86\%$

$DIVFDN_{48} = [(FDN_0 - FDN_{48})/FDN_0] * 100 = 52.51\%$

$DIVFDN_{72} = [(FDN_0 - FDN_{72})/FDN_0] * 100 = 61.06\%$

3) RESIDUAL DE LA FDN (ResFDN).

$$\text{ResFDN}_{12} = 100 - \text{DIVFDN}_{12} = 95.67\%$$

$$\text{ResFDN}_{24} = 100 - \text{DIVFDN}_{24} = 79.14\%$$

$$\text{ResFDN}_{48} = 100 - \text{DIVFDN}_{48} = 47.49\%$$

$$\text{ResFDN}_{72} = 100 - \text{DIVFDN}_{72} = 38.94\%$$

4) ResFDN POTENCIALMENTE DIGESTIBLE (ResFDNPD).

$$\text{ResFDNPD}_{12} = [(\text{ResFDN}_{12} - \text{ResFDN}_{72}) / \text{DIVFDN}_{72}] * 100 = 92.91\%$$

$$\text{ResFDNPD}_{24} = [(\text{ResFDN}_{24} - \text{ResFDN}_{72}) / \text{DIVFDN}_{72}] * 100 = 65.84\%$$

$$\text{ResFDNPD}_{48} = [(\text{ResFDN}_{48} - \text{ResFDN}_{72}) / \text{DIVFDN}_{72}] * 100 = 14.00\%$$

5) LOGARITMO NATURAL DEL ResFDNPD.

$$\ln \text{ResFDNPD}_{12} = 4.532$$

$$\ln \text{ResFDNPD}_{24} = 4.187$$

$$\ln \text{ResFDNPD}_{48} = 2.639$$

6) TASA DE DIGESTION = Pendiente de la línea de regresión del tiempo con el ln del ResFDNPD = - 0.05428 h⁻¹.

X	Y	
12	4.532	Y = 5.3060 - 0.05428x
24	4.187	r = -0.987
48	2.639	

7) TIEMPO LAG.

$$(\ln 100 - \text{Intercepto}) / \text{Tasa de digestión} = 12.91 \text{ h}$$