

204  
24

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



SUPLEMENTACION DE PAJA DE AVENA TRATADA  
CON  $NH_3$  e  $Ca(OH)_2$  EN DIETAS PARA OVINOS Y  
SU EFECTO SOBRE LA DIGESTIBILIDAD, CINETICA  
Y PARAMETROS DE FERMENTACION RUMINAL.

## TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

P R E S E N T A :

GRISELDA SALMERON ESTRADA

Asesores: I.B.I. Araceli Aguilera Barreyro  
MVZ. M.C. Eliseo Alcántara Sánchez  
MVZ. M.Sc. Fernando Pérez-Gil Romo



MEXICO, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1990



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.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
Dedicatoria -----	ii
Agradecimientos -----	v
Contenido -----	vi
Resumen -----	1
Introducción -----	2
Objetivo -----	16
Material y métodos -----	17
Resultados -----	22
Discusión -----	28
Conclusiones -----	40
Literatura citada -----	41
Figuras -----	49
Cuadros -----	55

Selmerón Estrada Griselda. Suplementación de paja de avena tratada con  $\text{NH}_3$  e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en dietas para ovinos y su efecto sobre la digestibilidad cinética y parámetros de fermentación ruminal. (Bajo la dirección de I.B. I. Araceli Aguilera Barreyro, M.V.Z.M.C. Eliseo Alcántara Sánchez y M.V.Z.M.S.c. Fernando Pérez-Gil Romo).

#### RESUMEN

Se trató paja de avena con  $\text{NH}_3$  anhidro e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Se elaboraron 6 dietas experimentales incluyendo la paja de avena tratada PT y paja sin tratar PST en dos niveles de la ración 75 y 90% en base a MS adicionando un suplemento. Se utilizaron 6 borregos machos criollos con fístula ruminal permanente colocados en jaulas metabólicas, se realizaron 3 periodos experimentales con una duración de 21 días cada uno; los primeros 14 días de acostumbramiento y los 7 siguientes para toma de muestras. Los resultados se analizaron por un análisis de varianza para un diseño de bloques al azar, comparando los medios con la prueba de rango múltiple de Tukey, con un nivel de significancia de ( $P < 0.05$ ). El análisis químico proximal de la PT indicó en relación a la PST un aumento de la proteína cruda PC en 184 y 27% para  $\text{NH}_3$  e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  respectivamente. Las cenizas aumentaron y el contenido de FDN disminuyó con los tratamientos de  $\text{NH}_3$  e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en un 15 y 6% respectivamente. La digestibilidad *in vitro* y la desaparición *in situ* de MS aumentaron con la amonólisis en un 12.27 y 42% respectivamente. En las dietas experimentales con PT el contenido de PC y cenizas, se incrementaron significativamente ( $P < 0.05$ ). El porcentaje de desaparición *in situ* de MS a las 24 horas, la digestibilidad *in vitro* de MS a las 48 horas, digestibilidad *in vivo* de N y desaparición *in situ* de N se incrementaron significativamente para las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$  ( $P < 0.05$ ).

SUPLEMENTACION DE PAJA DE AVENA TRATADA CON  $\text{NH}_3$  o  $\text{Co}(\text{OH})_2$  EN  
DIETAS PARA OVINOS Y SU EFECTO SOBRE LA DIGESTIBILIDAD, CINETICA Y  
PARAMETROS DE FERMENTACION RUMINAL.

INTRODUCCION

El incremento en los costos de producción y la grave crisis económica por la que atraviesa México, han creado la necesidad de disminuir los costos de la alimentación animal. Consecuentemente los rastrojos, pajos y demás residuos de la industria agrícola han cobrado gran importancia.

En México se producen aproximadamente 61 millones de toneladas de esquilmos agrícolas por año (55), se estima que los cereales producen cuando menos igual cantidad de granos que de esquilmos agrícolas de los cuales solo se aprovechan el 25% para alimentación animal (14,50,59); el 75% desechado representa una importante fuente potencial de alimento para rumiantes reduciendo el uso de cereales para la producción de alimentos de origen animal (14,50,60).

Generalmente la cosecha de cereales y de otros cultivos ocurre cuando la planta ha alcanzado su madurez, a esto se debe la disminución en el contenido de proteína y de azúcares solubles de la planta; lo cual va acompañado por un incremento de las paredes celulares, ocasionando que los esquilmos tengan un bajo valor nutritivo, por lo que son adecuados para satisfacer solo necesidades de mantenimiento (14,41,42).

Esquilmos agrícolas: Los esquilmos agrícolas son definidos como el material vegetal que permanece en el campo después de la cosecha. Aunque existen algunas diferencias en composición química entre los esquilmos, se

puede decir que como fuente de forraje son de baja calidad ya que su digestibilidad varía de 25-49% y su contenido de proteína de 2-11% (14,18,49).

Como se observa en el cuadro 1 el mayor componente de los esquilmos son las sustancias que forman las paredes celulares (celulosa y hemicelulosa) que son muy importantes por ser parcialmente digestibles y la lignina que es indigestible. Se sabe que los polisacáridos estructurales celulosa y hemicelulosa, nutrimentos más importantes en los alimentos de origen vegetal constituyen un 75% de la materia seca de las pajas y rastrojos, sin embargo aún cuando son fuentes energéticas para rumiantes, no pueden ser eficientemente aprovechados debido a un alto contenido de fracciones fibrosas de escasa digestibilidad (lignina y sílice) (54). Esta situación se relaciona estrechamente con la lignificación de los componentes de la pared celular y la presencia de sustancias indigestibles (sílice y lignina) unidas al hidrato de carbono disponible (50,54,60).

#### Hidratos de carbono estructurales de los esquilmos agrícolas.

La matriz orgánica de la pared celular de las plantas se compone de celulosa, hemicelulosa, pectinas, lignina y pequeñas cantidades de proteína de enlace (4).

Lignocelulosa.- Es el complejo de lignina, celulosa y hemicelulosa que existe en estrecha asociación física y química y es importante para la mayoría de los constituyentes de la pared celular de las plantas. Es una proporción de la materia seca total y varía en los forrajes dependiendo de la especie y el estado de madurez. El complejo de lignocelulosa nutricionalmente se divide en:

a) Una fracción no disponible que incluye compuestos como la lignina la cual no es degradada por la microflora del rumen.

b) La fracción de energía digestible que representa a los hidratos de carbono normalmente disponibles para la degradación microbiana y

c) La fracción de energía potencialmente digestible que incluye a los hidratos de carbono que no se encuentran normalmente disponibles para la microflora del rumen (celulosa y hemicelulosa) debido a sus asociaciones físicas o químicas dentro del complejo de lignocelulosa, pero los cuales pueden hacerse disponibles por tratamientos adecuados.

**Celulosa.** - Es el hidrato de carbono más abundante en el planeta y es el más importante e insoluble de los constituyentes de la pared celular. Es un polímero lineal de D-glucosa con enlaces covalentes  $\beta$  1-4 glucosídicos, el dímero que se repite en la celulosa es la celobiosa. Es extremadamente resistente a la degradación enzimática, puede ser hidrolizada a glucosa por ácidos fuertes y puede o no estar combinada con lignina. En la figura 1 se muestra la estructura de la celulosa y de la celobiosa (2,49,58,60).

**Hemicelulosa.** - Es una mezcla compleja y heterogénea de un gran número de diferentes polímeros de monosacáridos incluyendo glucosa, xilosa, manosa, arabinosa y galactosa. El xilano es usualmente la principal hemicelulosa en forrajes. Es la fracción de la pared celular más asociada a la lignina, es menos resistente a la degradación química que la celulosa y es un hidrato de carbono soluble en álcalis. Su contenido varía ampliamente de un tipo de material vegetal a otro con un rango de cerca de 6 a 40 %. La degradación de la hemicelulosa por la microflora del rumen es variable pero generalmente está en el rango de 45 - 90 %. En la figura 2 se presenta la estructura de un fragmento de xilano (42,49).

**Sustancias pécticas.** Se encuentran principalmente en los espacios que están entre las paredes celulares de la planta. Son un grupo de polisacáridos entre los cuales el principal es el ácido poligalacturónico o pectina.

La pectina está formada por cadenas de ácido D-galacturónico con enlaces  $\alpha$  1-4. No existen enzimas de mamíferos capaces de hidrolizar los pectinas por lo que su digestibilidad solo se logra por actividad microbiana. En la figura 3 se presenta la estructura de un fragmento de pectina (2,42,49,58,60).

La lignina.- Es un compuesto aromático exclusivo del tejido vegetal, que da el soporte estructural a las paredes celulares de las plantas. A medida que la planta madura, su contenido en lignina aumenta. Se encuentra en las plantas leñosas, en mazorcas, cáscaras y porciones fibrosas de tallos y hojas.

No existe ninguna especie de mamífero capaz de degradar la lignina. Tampoco los microorganismos ruminales producen enzimas que la degraden. La figura 4 muestra la estructura de la lignina (2,42,49,58).

Se ha encontrado que a medida que aumenta el contenido de lignina disminuye la digestibilidad del forraje, debido a que la lignina reacciona con los hidratos de carbono de la planta dando como resultado un complejo lignina-hidrato de carbono. El hidrato de carbono que forma este complejo no es atacado por las enzimas de los microorganismos del rumen y se transforma en indigestible. La figura 5 muestra el complejo lignina-hidrato de carbono.

Como ya se mencionó, los forrajes contienen principalmente celulosa y hemicelulosa asociada con cantidades variables de lignina. La lignina es virtualmente indigestible mientras que la celulosa y hemicelulosa son fermentadas por microorganismos para producir productos finales como ácidos grasos volátiles los cuales contribuyen a suministrar energía para los rumiantes.

La lignina reduce la digestibilidad de la celulosa y hemicelulosa protegiéndolas físicamente contra la degradación enzimática y también con la formación de ligaduras ésteres con hemicelulosa. De éste modo los esquilmos



agrícolas con alto contenido de lignina tienen baja digestibilidad (2,42,49,58).

El tubo digestivo del animal recién nacido es prácticamente estéril. En el animal lactante el rumen es pequeño en comparación de los demás órganos digestivos y el epitelio absorptivo se encuentra poco desarrollado, por lo tanto el rumiante joven es incapaz de utilizar la lignocelulosa debido a que carece de microorganismos. Sin embargo, la colonización del rumen se inicia inmediatamente después del nacimiento, siendo las principales fuentes de contaminación la misma leche y los otros rumiantes. Después de un cierto periodo los rumiantes jóvenes desarrollan en el compartimiento rumen-reticular de su estómago una microflora con una poderosa actividad celulolítica, lo que les permite digerir la lignocelulosa casi al mismo grado que el rumiante maduro (57).

Debido a la relación simbiótica con los microorganismos del rumen, los rumiantes son capaces de aprovechar la celulosa y hemicelulosa fermentándolas para producir ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico) y sintetizar ATP. Este ATP mas una apropiada fuente de nitrógeno es utilizado por la microbiota para síntesis de proteína y otros constituyentes celulares. Esta síntesis de proteína microbiana es el proceso vital por el cual los rumiantes pueden satisfacer sus necesidades cualitativas y cuantitativas de proteína aún cuando su alimentación sea a base de nitrógeno no proteínico (58). Sin embargo el bajo contenido de azúcares solubles actúa como factor limitante para el aprovechamiento del nitrógeno por la flora ruminal (5,6,48,54,58).

Debido a la digestión microbial el rumiante puede rápida y eficientemente extraer la mayoría de la energía de la lignocelulosa del material vegetal inmaduro, pero está pobremente equipado para removerla de los esquilmos

agrícolas y de la madera, esto puede resolverse por medio de tratamientos a los materiales vegetales que provoquen el rompimiento de la pared celular en un tamaño que facilite el ataque bacteriano y permita que el alimento se mueva a través del tracto alimenticio eficientemente, mejorando la disponibilidad de energía en la fracción de lignocelulosa y proveyendo de nutrientes adecuados a la microflora del rumen para que utilice la energía disponible (14,16,58).

Las características de los esquilmos, de ser bajos en proteína y fósforo y altos en paredes celulares resultan en bajos consumos de alimento, pobre digestibilidad de la materia seca, tasa de paso lenta y baja densidad energética, lo cual limita su utilización en las raciones (14,18,60,63).

En general, los esquilmos no contienen suficiente energía para producir el nivel de consumo de alimento y ganancia de peso de otros forrajes de mejor calidad por lo que es necesario complementarlos con proteína y energía (14).

Anderson menciona que la digestibilidad máxima y el consumo dependen de una suplementación adecuada de minerales, energía como la melaza y de nitrógeno no proteínico como la urea (7).

#### Procesamiento de esquilmos.

Como se mencionó una de las principales limitantes del consumo de los esquilmos agrícolas es su baja digestibilidad asociada a la formación de complejos insolubles de lignina, sílice y hemicelulosas. Los tratamientos químicos, físicos y biológicos pueden acarrear un incremento en el consumo disminuir la selectividad y el desperdicio y aumentar la velocidad de paso de los esquilmos a través del tubo rumino-intestinal (14,58).

En el cuadro 2 se presentan algunos de estos tratamientos.

Con objeto de romper las estructuras mencionadas y con ello hacer a las pajas y rastros más aprovechables para los animales se han probado una serie de compuestos químicos entre los que se encuentran: amoníaco anhidro ( $\text{NH}_3$ ), hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), hidróxido de potasio ( $\text{KOH}$ ), ácidos y otras sales de sodio como: sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ), clorito de sodio ( $\text{NaClO}_2$ ), carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) en diferentes concentraciones que van de 0 a 30 g por 100 gramos de materia seca. La efectividad de los tratamientos depende de los tiempos de reacción a que se somete el material tipo de paja, humedad de la paja, temperatura ambiente y tamaño de la partícula utilizada (14,15,54). Se han empleado también mezclas de álcalis como:  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e  $\text{KOH}$  obteniéndose mejores resultados con las combinaciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e  $\text{NaOH}$  que por sí solos (27,35).

Otra forma de utilizar el efecto mejorador de los tratamientos alcalinos consiste en combinarlo con el tratamiento físico por ejemplo la molienda y la granulación. También se han ideado métodos basados en amoníaco liberado de la urea por calor y presión o de la urea por la acción de la enzima llamada ureasa. Citado por Sundstøl *et al* (62).

Los mecanismos de acción de los álcalis no han sido realmente aclarados. Terkow y Feist (1969) citado por Saenger *et al* (53), demostraron que los efectos del  $\text{NaOH}$  diluido y el  $\text{NH}_3$  fueron equivalentes. La hidrólisis básica y la amonólisis de las ligaduras cruzadas esterificadas entre las cadenas de hemicelulosa-xilán y los polímeros de lignina resultaron en la ionización del carboxilo y los grupos amida respectivamente. La reacción de amonólisis se presenta en la figura 6.

El incremento del punto de saturación, la hinchazón, la flexibilidad y la amonólisis de las ligaduras cruzadas de éster entre la lignina y los hidratos de carbono digeribles debieron todos incrementar la utilización de la fibra por los rumiantes, por el incremento del sustrato aprovechable para las enzimas apropiadas.

Si ésta reacción de amonólisis ocurre, la utilización del N del tratamiento con  $\text{NH}_3$  puede ocurrir simultáneamente con el aprovechamiento de la fibra del forraje (53, 67).

Kolankaya y Stewart (1983) citado por Wanapat *et al* (70) encontraron como resultado de la amoniatización el incremento en la digestión de la materia seca por cultivos mixtos de bacterias celulolíticas del rumen.

Harbers *et al* (1982) usando el microscopio electrónico reportaron que se ha visto una ruptura de la cutícula interna y la separación contigua de las células parenquimatosas de la paja de trigo. Esto da como resultado cambios marcados en la estructura de la pared celular vegetal, las pectinas sufren una división de los enlaces glucosídicos, por lo tanto, la pared celular es atacada más rápidamente por bacterias y protozoarios (22).

Jackson (26), Kellaway y Leibholz (31) y Klopfenstein *et al* (34) encontraron que el mecanismo de acción de éstos ácidos es a través de la ruptura de las paredes celulares por medio de la solubilización de la hemicelulosa por la hidrólisis de los ésteres de los ácidos urónico y acético entre la pectina y hemicelulosa, aumentando la tasa de digestión ruminal de la celulosa y hemicelulosa al sufrir un incremento en el grado de hinchazón al contacto con agua, lo que permite una gran difusión de las enzimas celulolíticas a través del sustrato permitiendo mejorar la velocidad de digestión y el incremento en el consumo voluntario del material tratado. En adición, parte de la fracción de hemicelulosa es vuelta soluble.

En numerosas investigaciones se ha encontrado que los tratamientos químicos aumentan la fermentabilidad de la energía y el consumo voluntario con lo cual se acelera la velocidad de tránsito de la ingesta a través del tubo digestivo, se incrementan también las ganancias de peso así como la conversión alimenticia (37,54) y se elevan hasta en un 40 a 70 % la digestibilidad de la celulosa y hemicelulosa de los forrajes, sin cambios aparentes en el contenido de lignina (27). Debido a lo anterior la disponibilidad de hidratos de carbono solubles se ve aumentada obteniéndose con ésto una mayor producción de ácidos grasos de cadena corta mejorando el valor energético de los esquilmos agrícolas (14,58).

El conocimiento de estos tratamientos químicos se remonta a finales del siglo XIX desde entonces se han desarrollado varios métodos de tratamiento con hidróxido de sodio, sin embargo debido a que los iones de sodio en exceso son depositados en el abono este al dispersarse en la tierra puede provocar serios desequilibrios por lo que otras alternativas podrían ser el amoníaco anhídrido o el hidróxido de calcio (36,65).

#### Ventajas del tratamiento del $\text{NH}_3$ e $\text{Ca(OH)}_2$

La amonización da como resultado un aumento marcado en el contenido de proteína cruda del forraje, en la digestibilidad de la materia orgánica (cuadro 3) en el consumo de alimento y en la actividad celulolítica en el rumen, además de que es un tratamiento económico y fácil de realizar, es aplicable en una amplia variedad de condiciones, debido a su efecto fungicida, el tratamiento sirve como método de conservación y almacenamiento, el amoníaco y sus derivados son importantes fertilizantes nitrogenados y el nitrógeno residual en el material tratado es una fuente de nitrógeno no proteínico para los rumiantes (5,6,10,12,16,26,67).

El tratamiento con amoníaco mejora el valor nutritivo de los esquilmos elevando su contenido de energía, el cual puede compararse con el de un heno de mediana calidad (62).

Sundstøl *et al* (62) encontró en experimentos efectuados con paja de avena y cebada, que la digestibilidad aparente del nitrógeno aumentó con la amoniatización en 20 a 40 unidades porcentuales.

El tratamiento con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  es menos corrosivo y más seguro para manejar que el hidróxido de sodio, es también más disponible en muchos países en donde puede ser producido localmente. Contribuye también a la suplementación de Ca al ganado y podría ser particularmente usado en vacas lecheras (16,21,32). Capper *et al* (16) mencionan el uso del rastrojo de maíz tratado con 1.5 % de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  para reemplazar el salvado de trigo en raciones para vacas productoras de leche.

Meléndez *et al* (1975) citado por Sánchez (54) encontraron que el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  elevó la digestibilidad de la paja de trigo hasta 56 %.

Verma y Jakson (1975) mencionado por Bess *et al* (10) y Jackson (27) encontraron que el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  es menos efectivo que el NaOH, lo que probablemente es debido a su baja solubilidad. Dado que los últimos autores encontraron que cuando el material tratado con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se dejaba por 150 días su digestibilidad aumentaba tanto como el material tratado con NaOH. Waller y Klopfenstein (69) encontraron una mezcla de NaOH (3%) e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (1%) que es más efectiva que el NaOH solo (4%) en términos de ganancia y eficiencia alimenticia en borregos y novillos (69).

Se han encontrado posibles aumentos sustanciales del peso vivo cuando el ganado ovino se le administra paja de avena tratada con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  espolvoreada con urea y pequeñas cantidades de suplementos (27).

Estos métodos no han tenido mucho auge debido al costo que representa el tratamiento de la paja, sin embargo tan grande es el potencial nutritivo que representa la paja tratada, que en los últimos años se han hecho numerosas investigaciones al respecto, incluso en Europa existen empresas que comercializan paja tratada en forma de pellets (27).

Ha quedado establecido que los tratamientos con álcalis incrementan el valor nutritivo de forrajes de baja calidad. Esto ha ocasionado la conducción de diversos estudios relacionados con la utilización de suplementos alimenticios para animales que consumen pajas tratadas.

Swingle y Waymack (1975) mencionado por Jackson (27) proponen suplementos a base de nitrógeno no proteínico, mientras que Saxena *et al* (57) señalan que la paja de trigo pretreatada al carecer de la mayor parte de proteínas puede ser suplementada con pasta de soya, urea o con sulfato diamónico obteniéndose un aumento en la ganancia de peso, el consumo voluntario y la conversión alimenticia.

Donefer (1988) citado por Jackson (27) encontró que la paja de avena suplementada con urea aumentó más el consumo y la digestibilidad que en la paja tratada sin suplementación, lo que indica que la efectividad del tratamiento con álcalis depende marcadamente de la composición de las dietas de la cual la paja es una parte.

En general los tratamientos químicos sirven para cualquier producto o subproducto que contenga celulosa y que son alimento potencial para el ganado como: Bagazos, cascara, maderas, aserrín, etc., debido a que son de menor digestibilidad que la paja ésta no aumenta mucho después del tratamiento por lo que económicamente su uso en la alimentación del ganado posterior al tratamiento con álcali es incierto (15, 27).

## DIGESTIBILIDAD Y VELOCIDAD DE PASO.

El estado nutritivo de un animal es frecuentemente afectado por el coeficiente de digestibilidad de los alimentos ingeridos (58) ya que la composición química de éstos solamente indica, el contenido de nutrimentos del mismo, pero no su disponibilidad para el animal (14) por lo que los resultados sobre la digestibilidad son un aspecto muy importante del valor energético y productivo de los alimentos bajo investigación (30).

Una extensa variedad de métodos han sido usados para evaluar el mejoramiento en la digestibilidad de los esquilmos tratados con álcalis éstos incluyen: digestibilidad *in vitro* (Tilley y Terry) (64), técnicas de desaparición *in situ* con bolsas de nylon (43) y digestibilidad *in vivo* (68). La digestibilidad *in vivo* es el método más empleado tanto en ruminantes como en monogástricos y consiste en proporcionar a un animal cantidades predeterminadas de un alimento de composición conocida y la recolección total de heces producidas. El método es confiable pero desafortunadamente muy costoso y requiere de mucho tiempo, además de requerir grandes cantidades de alimento, gran número de animales y de instalaciones apropiadas (42,43,48,60,64); es por esto que se han desarrollado métodos alternos que aún cuando son más rápidos, baratos y fáciles de efectuar tienen más posibilidades de error, por lo que no deben sustituir totalmente la evaluación de digestibilidades *in vivo* (62).

La técnica de digestibilidad *in vitro* desarrollada por Tilley y Terry (1963) se ha usado con éxito en los forrajes, éste método proporciona una respuesta rápida pero menos precisa. En poco tiempo gran cantidad de muestras pueden ser analizadas; se requieren pequeñas cantidades de alimento y éste puede o no ser palatable; consiste en someter al forraje a una fermentación anaerobia con líquido ruminal y posteriormente a una



digestión ácida con pepsina, en una tentativa por imitar el sistema digestivo ruminal (64).

El método de desaparición *in situ* es una técnica útil para evaluar rápidamente la tasa de degradación y el potencial para la degradabilidad de los alimentos y suplementos. Es una poderosa herramienta para la evaluación inicial de los alimentos y para mejorar nuestro entendimiento del proceso de degradación que ocurre dentro del rumen (32,43,48).

Esta técnica puede usarse en situaciones de campo para evaluar la digestibilidad del forraje consumido por animales en pastoreo.

La técnica consiste en suspender las bolsas de nylon con una cantidad conocida de muestra en el rumen, (con la ayuda de una cánula ruminal). Las bolsas se amarran a un hilo de nylon y éste es sujetado a un anillo de alambre insertado en la cánula, las bolsas se empujan dentro del rumen, recomendándose introducir de 5 a 6 bolsas en pequeños rumiantes, es importante también que el animal consuma una dieta igual o similar a la muestra suspendida en el rumen. Las bolsas son sacadas del rumen a intervalos conocidos (3, 6, 9 y 24 horas) luego son lavadas en agua corriente hasta que el agua del lavado salga limpia, posteriormente son secadas a peso constante a 60-70 C durante 24 horas y la tasa de degradabilidad se calcula a partir de la desaparición de materia seca de las bolsas que es una estimación de la degradabilidad microbiana (32,43,48).

Wanapat *et al* (70) realizaron un estudio comparativo de la digestibilidad *in vivo*, *in vitro* y la desaparición *in situ*, encontrando que la degradabilidad *in situ* y la digestibilidad *in vitro* fueron significativamente correlacionadas con la digestibilidad *in vivo* ( $r=0.95$  y  $r=0.90$  respectivamente).

Otro método utilizado para valorar la digestibilidad *in vivo* es el método indirecto que incluye el empleo de una "sustancia inerte de referencia" como indicador (42).

El indicador no debe ser digestible ni absorbible, ni tener acción farmacológica en el tracto digestivo, debe pasar a través de él a una velocidad uniforme, poderse determinar por análisis químico en forma sencilla y de preferencia ser un constituyente natural del ingrediente alimenticio a probarse (17,19,42).

Los coeficientes de digestión no son constantes para un determinado alimento o especie animal ellos están influenciados por muchos factores variables. La composición química del alimento y en especial el estado de madurez del forraje es el factor que más afecta la digestibilidad de las plantas(14,30,42,58).

La digestibilidad es afectada también por la velocidad de paso a través del tubo gastrointestinal. En sustancias que son de lenta digestión, el aumento en la velocidad de paso provoca una absorción incompleta, por el contrario, alimentos que transitan lentamente por el intestino pueden estar sujetos a fermentaciones excesivas que disminuyan su aprovechamiento (16,44,72).

Muchos estudios han demostrado que la molienda fina del heno o la peletización disminuyen su digestibilidad debido a que el heno molido o peletizado pasa más rápido por el tracto digestivo (7,26,36).

La digestibilidad de la dieta es uno de los factores que determinan el consumo voluntario de los esquimos en los rumiantes. Anderson (7) ha encontrado una correlación positiva entre el consumo y la digestibilidad y entre el consumo y la tasa de paso.

Algunos autores como Morán *et al* (46) encontraron que el tratamiento con álcali mejoró la digestibilidad de los nutrientes de la dieta, ésto fue asociado con un incremento en el movimiento del agua y la digesta a través del tubo digestivo lo cual redujo la tasa de digestión de la celulosa por los microorganismos del rumen.

Estos autores encontraron también una disminución en el consumo (2,26,27,51).

Por otro lado Al-Rabbat y Heaney (5,6) y Capper *et al* (16) encontraron en raciones con paja amoniatizada una disminución en la tasa de pesaje lo que puede ser benéfico para el animal ya que un tiempo de retención prolongado de la digesta en el rumen permite a la población microbiana una mayor oportunidad para la fermentación.

Para obtener estimados confiables del potencial para la desaparición del material en bolsas de nylon es necesario obtener una medición de la tasa de recambio en el rumen de los partículas en el momento en que se realiza el estudio con la bolsa de nylon (32,43,48).

Para la mayoría de los propósitos en la medición de la tasa de recambio del líquido en el rumen, se utilizan marcadores tales como CrEDTA polietilenglicol, etc. éstos pueden proporcionar valores para tasa de recambio ruminal adecuados, para completar el modelo para la desaparición en el rumen de materiales alimenticios, para la medición de recambio de sólidos se utilizan sustancias tales como óxido de cromo, lignina, etc. (1,2,17,19,42).

Hogan y Weston (1970) citado por Aguilera *et al* (2) encontraron que la síntesis de proteína bacteriana puede ser precedida por un alto nivel de eficiencia en la paja tratada con álcali y no está influenciada por la tasa de pesaje de la digesta a través del rumen.

#### OBJETIVO

El objetivo de éste trabajo es conocer la digestibilidad y el comportamiento a nivel ruminal que para los ovinos tiene la paja de avena tratada y no tratada con álcali.

## MATERIAL Y METODOS

Esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Departamento de Nutrición Animal del Instituto Nacional de la Nutrición "Salvador Zubirán" y fue apoyado económicamente por CONACYT.

La presente investigación es la continuación de un trabajo experimental donde se evaluaron las condiciones óptimas para el tratamiento de la paja de avena con hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) y amoniaco anhídrido ( $\text{NH}_3$ ), (bajo diferentes niveles de álcali, de humedad y tiempo de reacción). Se seleccionaron los mejores tratamientos obtenidos en la investigación anterior para la elaboración de las dietas experimentales del presente trabajo de la siguiente manera:

1) Tratamiento de la paja de avena con  $\text{NH}_3$  anhídrido al 2% en base a materia seca, con 10% de humedad, durante 45 días.

2) Tratamiento de la paja de avena con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 3% en base a materia seca, con 25% de humedad durante 60 días.

3) Paja de avena sin tratar.

El experimento se dividió en tres etapas:

ETAPA 1. TRATAMIENTO DE LA PAJA DE AVENA, EVALUACION QUIMICA DE LA PAJA DE AVENA TRATADA Y SIN TRATAR Y ELABORACION DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES.

1.1 TRATAMIENTO DE LA PAJA DE AVENA.

1.1.1 Tratamiento con amoniaco anhídrido ( $\text{NH}_3$ )

Para el tratamiento con amoníaco anhidro se utilizó el método noruego (62) que consistió en lo siguiente: sobre una superficie plana cubierta por un plástico, se apilaron las pacas de avena (250 kg); se colocó un tubo entre éstas por donde posteriormente se dosificó el gas; al completar la pila de pacas se cubrieron con otro plástico cerrando herméticamente tres lados. Se conectó el tanque de amoníaco al tanque dosificador y se inyectaron 4.6 kg del amoníaco; para determinar la cantidad de amoníaco inyectado se colocó el tanque sobre una báscula durante el proceso de inyección. Una vez aplicado el gas se cerró este lado herméticamente enrollando el plástico de la cubierta con el del piso y cubriendo ambos con tierra. En éste caso no hubo necesidad de aplicar agua a la paja porque la humedad óptima del tratamiento era del 10 % (58).

El tiempo óptimo del tratamiento fue de 45 días, posteriormente estuvo destapado el material durante 5 días antes de ser molido y ofrecido a los animales, con el fin de que se volatilizara el exceso de amoníaco (2,13,58).

#### 1.1.2 Tratamiento con hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

El tratamiento se hizo en forma rústica extendiendo la paja sobre una superficie plana y aplicando por aspersión el álcali disuelto en agua. Se utilizaron 6.9 kg de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  disueltos en 55.7 l de agua para tratar 250 kg de paja de avena (58).

Posteriormente a la aplicación del álcali, la paja de avena se cubrió con un plástico para resguardarla del medio ambiente durante los 60 días que duró el tratamiento. Ambos tratamientos se llevaron a cabo en un local abierto y a temperatura ambiente.

## 1.2 EVALUACION QUIMICA DE LA PAJA DE AVENA TRATADA Y SIN TRATAR.

La paja de avena tratada y sin tratar con los álcalis se evaluó por medio del análisis químico proximal (8) y se le determinó fracciones de fibra (FDN, FDA, celulosa y lignina) mediante los métodos sugeridos por Van Soest y Wine (66).

Por otro lado, se sometió a pruebas de digestibilidad *in vitro* y de desaparición *in situ* de M.S. mediante la metodología propuesta por Minson y McLeod (45) y Mehrez y Ørskov (43) respectivamente.

## 1.3 ELABORACION DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES.

En la elaboración de las dietas, se consideraron 2 factores: El primer factor fue el efecto del tratamiento alcalino, teniendo 3 niveles (paja tratada con  $\text{NH}_3$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$  y sin tratar); el segundo factor fue el efecto del nivel de inclusión de paja dentro de la dieta, teniendo los niveles de 75 y 90%. En base a estos factores con sus respectivos niveles, se tuvieron 6 dietas experimentales. La composición de las dietas aparece en el cuadro 4.

Las dietas fueron sometidas al análisis químico proximal (8), a la determinación de fracciones de fibra (66) y a la evaluación de la digestibilidad *in vitro* de materia seca (45).

## ETAPA 2.- ADMINISTRACION DE LAS DIETAS A LOS ANIMALES Y TOMA DE MUESTRAS BIOLÓGICAS.

Se emplearon 6 borregos criollos machos de un año de edad con fístula ruminal permanente y con un peso promedio de 30 Kg, se desparasitaron interna y externamente, se les aplicó vitamina A,D y E parenteralmente y fueron debidamente marcados y pesados antes de iniciar el experimento.

Los borregos se colocaron en jaulas metabólicas utilizando un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones o períodos, los cuales tuvieron una duración de 21 días.

Las dietas se ofrecieron *ad libitum* en los primeros 14 días de cada período (etapa de acostumbramiento), registrándose el consumo voluntario de los mismos. En la segunda parte del período con una duración de 7 días, se ofreció el 90% del alimento consumido durante el acostumbramiento, registrándose lo ofrecido y rechazado por cada animal, el alimento se administró una vez al día y los animales dispusieron de agua a libre acceso; durante éstos 7 días se hizo la recolección total de heces para las determinaciones de la digestibilidad de los nutrimentos; se determinó la desaparición *in situ* de M.S. con la incubación de las bolsas de nylon a intervalos de 0,3,6,9 y 24 horas; se llevó a cabo la toma de muestras de líquido ruminal con y sin marcadores externos para observar el efecto que tiene la paja de avena tratada y sin tratar sobre la cinética ruminal de sólidos y líquidos y la producción de N-NH<sub>3</sub> y el pH ruminal, muestreándose a intervalos de 0,3,6,9,24 y 33 horas después de ofrecer alimento. Los marcadores utilizados fueron 5 g de óxido de cromo para sólidos y 10 g de polietilenglicol para líquidos.

### ETAPA 3.- EVALUACION DE LAS MUESTRAS BIOLÓGICAS DE CADA ANIMAL Y CADA DIETA.

La evaluación de las muestras biológicas se realizó por medio de los siguientes análisis:

a) Determinación *in vivo* (por recolección total de heces) de digestibilidad de materia seca (8), paredes celulares por el método de Van Soest y Wine (66) y nitrógeno (8).

b) Determinación *in situ* de la desaparición de materia seca por el método de bolsas de nylon de Mehrez y Ørskov (43), paredes celulares (66) y nitrógeno (6) a las 24 horas.

c) Medición de pH y nitrógeno amoniacal por potenciometría (11) en el líquido ruminal.

d) Determinación del volumen, flujo y tasa de recambio de líquidos y sólidos en rumen, por el empleo de marcadores externos: polietilenglicol con la técnica citada por Malawaer y Powell (38) y óxido de cromo con la metodología de Czarnocki *et al* (19).

Los resultados obtenidos se analizaron por medio de un análisis de varianza para un diseño de bloques al azar, con arreglo factorial 3 X 2 y para comparar entre medias se empleó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $P < 0.05$ .



## RESULTADOS

Las características físicas de la paja tratada con  $\text{NH}_3$  cambiaron durante el proceso de tratamiento; el color de la paja pasó de un amarillo claro a un café oscuro y la textura se hizo más quebradiza. En ambos tratamientos no hubo crecimiento de moho ni presencia de insectos.

El cuadro 5 presenta la composición química y la digestibilidad de la paja de avena sin tratar y tratada con  $\text{NH}_3$  e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

El mayor contenido de proteína correspondió a la paja tratada con  $\text{NH}_3$  (14.62 %); este tratamiento y el de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  mejoraron significativamente ( $P < 0.05$ ) el contenido de proteína en 184% y 27% respectivamente en relación a la paja no tratada.

Las cenizas totales aumentaron un 25.6 % en la paja tratada con  $\text{NH}_3$  y un 135 % en la paja tratada con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en relación a la paja no tratada.

El contenido de fibra detergente neutra (FDN) disminuyó con los tratamientos con  $\text{NH}_3$  e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  un 15 y 6 % respectivamente en relación a la paja sin tratar.

Con la amoniatización, el contenido de FDA y de celulosa de la paja decreció en relación a la no tratada en 26.6 y 85.27 % respectivamente; mientras que para el tratamiento con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  no hubo cambios ( $P < 0.05$ ).

La hemicelulosa y lignina no sufrieron cambios con ningún tratamiento.

La digestibilidad *in vitro* y la deseparición *in situ* de MS aumentaron con la amoniatización, en un 12.27 y 42 % respectivamente en relación a la paja no tratada; por otro lado la digestibilidad de la paja tratada con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  no tuvo cambios estadísticamente significativos ( $P < 0.05$ ) en relación a la paja sin tratar.

Los resultados del análisis químico de las dietas experimentales se detallan en el cuadro 6.

El contenido de proteína cruda fue superior para las dietas tratadas con amoníaco; sin embargo entre las dietas tratadas con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y las dietas sin tratar no hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

El contenido de cenizas tuvo un incremento en las dietas tratadas con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; se observaron diferencias significativas de la dieta 4 contra todas las dietas y de la dieta 3 contra las dietas 1, 2, 4 y 5. Entre las dietas tratadas con amoníaco y sin tratar sólo existió diferencia significativa de la dieta 1 con las dietas 2 y 6 y entre la dieta 2 con las dietas 1 y 5.

La fibra detergente neutro se redujo con el tratamiento con amoníaco presentando diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre la dieta 1 con las dietas 2, 3, 4 y 5 y la dieta 2 con las dietas 1, 3, 4, 5 y 6. Entre las dietas tratadas con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y las sin tratar solo existió diferencia significativa entre las dietas 4 y 6.

La FDA fue inferior en el tratamiento con  $\text{NH}_3$  existiendo diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) contra las demás dietas, las dietas tratadas con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  mostraron un mayor contenido de FDA. En la hemicelulosa se observó diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre las dietas 1, 3 y 5 y las dietas 2 y 6 y la dieta 4 con las dietas 2, 5 y 6. La celulosa solo mostró diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre las dietas 1 y 4.

En las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$  se observó una disminución en la lignina aunque no se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

## CONSUMO VOLUNTARIO Y DIGESTIBILIDAD

En el cuadro 7 se presentan los valores obtenidos para el consumo voluntario y digestibilidad *in vivo*. En ambos parámetros no hubo diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ) entre las dietas experimentales, aunque se observa un aumento en las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$ .

Por lo que respecta a la deseparación *in situ* de materia seca solamente existió diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre las dietas 2 y 4. En cuanto a la digestibilidad *in vitro* de materia seca hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre la dieta 1 y las dietas 3, 4, 5 y 6, y entre la dieta 2 y las dietas 3 y 5 siendo la dieta 1 la que obtuvo la mayor digestibilidad. Sin embargo, no hubo diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) entre las dietas 1 y 2 y entre la dieta 2 y las dietas 4 y 6, por lo que se puede observar que las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$  tuvieron la mejor digestibilidad no habiendo diferencias significativas entre las dietas tratadas con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y las dietas sin tratar.

Respecto a los resultados del cuadro 8, se encontró que la deseparación de materia seca del alimento incubado *in situ* inicia a las 6 horas en las dietas 1 y 5 y entre las 9-24 horas para las dietas 2, 3, 4 y 6.

Entre dietas se encontró diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) a la hora 3 entre las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$  y las tratadas con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; presentándose también diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre la dieta 2 y las dietas 5 y 6 y entre la dieta 6 y las dietas 2, 3 y 4 siendo las mejores las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$ .

A la hora 6 existió diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre la dieta 3 y las dietas 1, 2 y 6.

A la hora 9 se observó diferencia significativa solamente entre las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$  ( 1 y 2 ) y las dietas tratadas con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ( 3 y 4 ). A la hora 24 solo existió diferencia significativa (  $P < 0.05$  ) entre las dietas 2 y 4.

Para el tiempo medio de desaparición de MS no hubo diferencia significativa (  $P < 0.05$  ).

En el cuadro 9 se encuentran los resultados obtenidos para la digestibilidad *in vivo* y desaparición *in situ* de FDN y nitrógeno de las dietas experimentales a las 24 horas. Como se puede apreciar no se encontraron diferencias significativas (  $P < 0.05$  ) para los valores de digestibilidad *in vivo* y desaparición *in situ* de FDN. En cuanto a la digestibilidad *in vivo* de N solo se observaron diferencias significativas (  $P < 0.05$  ) entre las dietas 2 y 3. Para la desaparición *in situ* de N se encontraron diferencias significativas (  $P < 0.05$  ) entre la dieta 2 y las dietas 3, 4 y 5 y también entre la dieta 3 y las dietas 1, 2 y 6. Siendo las mejores las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$ .

En el cuadro 10 se presenta la cinética de desaparición *in situ* de FDN donde se puede apreciar que para las dietas 1 y 5 comienza la desaparición a las 9 horas mientras que para las dietas 2, 3, 4 y 6 la desaparición de FDN empieza entre las 9-24 horas.

Entre las dietas se puede observar que existió diferencia significativa a la hora 6 entre las dietas 1 y 4; a la hora 9 entre la dieta 1 y las dietas 2, 4 y 6, con una mayor desaparición en la dieta 1 y a las 24 horas no hubo diferencia significativa (  $P < 0.05$  ). Para el  $T_{1/2}$  de desaparición de MS se observó diferencia significativa (  $P < 0.05$  ) solo entre las dietas 2 y la 5.

Como se puede apreciar en el cuadro 11 la desaparición de N *in situ* fue constante en las dietas 2, 4 y 5 de las 3 a las 24 horas, en las dietas 1 y 6 se inició la desaparición entre las 3 y 24 horas de incubación mientras que para la dieta 3 comenzó la desaparición entre las 6 y 24 horas.

A la hora 3 las dietas 1,2 y 6 fueron diferentes estadísticamente de las dietas 3,4 y 5 y la dieta 4 fue diferente estadísticamente de las dietas 1, 2, 3 y 6.

A la hora 6 todas las dietas fueron diferentes estadísticamente ( $P < 0.05$ ) de la dieta 3 mientras que la dieta 5 fue diferente estadísticamente ( $P < 0.05$ ) de las dietas 2,3 y 6.

A la hora 9 las dietas 1,2 y 6 fueron diferentes estadísticamente ( $P < 0.05$ ) de las dietas 3,4 y 5 mientras que las dietas 4 y 5 fueron diferentes estadísticamente ( $P < 0.05$ ) de la dieta 3.

A la hora 24 las dietas 2 y 6 fueron diferentes estadísticamente ( $P < 0.05$ ) de las dietas 3, 4 y 5. La dieta 1 fue igual estadísticamente a las dietas 2,4,5 y 6, pero diferente de la dieta 3. La dieta 3 fue diferente estadísticamente de la dieta 1,2 y 6 pero igual a las dietas 4 y 5. Para el T 1/2 de desaparición de N no se observó diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).

#### PARAMETROS DE FERMENTACION RUMINAL

En el cuadro 12 aparecen los datos de pH del líquido ruminal, donde se puede observar que los valores entre dietas y entre horas así como el promedio no fueron diferentes estadísticamente ( $P < 0.05$ ).

En el cuadro 13 se presenta la cinética de producción de  $\text{NH}_3$  de las dietas experimentales donde se puede observar que solo hubo diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre dietas a la hora 9, donde la dieta 2 tuvo el valor más alto de producción de  $\text{NH}_3$  con una diferencia significativa con las dietas 3, 4 y 6. En la dieta 1 y 3 la mayor producción de  $\text{NH}_3$  se observó a la hora 0, en la dieta 4 fue a las 3 horas y en las 5 y 6 la mayor producción se observó a las 6 horas.

En el promedio se observó una mayor producción de amoníaco en las dietas 2 y 5, sin ser diferentes estadísticamente ( $P < 0.05$ ).

El cuadro 14 muestra la cinética de sólidos y líquidos, donde se puede apreciar que en ninguno de los parámetros de la cinética de sólidos hubo diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre dietas; mientras que para la de líquidos existió diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en el volumen y el flujo entre la dieta 1 y las dietas 2 y 6 y la dieta 2 con la dieta 4. Para el tiempo medio existió diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) solamente entre las dietas 4 y 6. Para la tasa de dilución existió diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre la dieta 6 y las dietas 1 y 4.

## DISCUSION

## EVALUACION DE LA PAJA DE AVENA.

Durante el tratamiento la paja de avena cambió de color amarillo a café explicándose éste fenómeno como un resultado de oxidación de los grupos fenol o la condensación de las fracciones aldehído de los azúcares con bases nitrogenadas vía la reacción de Maillard, (24,63) éste color se incrementa con el aumento de la concentración de amonio, el tiempo de exposición y la temperatura (13,53).

Wang *et al* (71) demostraron que el tratamiento con  $NH_3$  rompe los enlaces éster de los constituyentes de la pared celular resultando en un cambio de color, una hinchazón y un incremento en la flexibilidad de la fibra, resultados similares encontraron: Capper (16), Klopfenstein (34), Saenger (53).

El incremento en la fragilidad de la paja indica una gran susceptibilidad a la fractura mecánica. Por consiguiente el tiempo de masticación en la rumia puede ser disminuido (53).

El reducido tamaño de las partículas, por el aumento de la fragilidad de la paja puede ocasionar una reducción en el tiempo de permanencia de las partículas en el rumen, un incremento en la tasa de pasaje, un aumento en la superficie accesible para el ataque enzimático, lo que provoca por lo tanto un incremento en la digestibilidad (44).

Herrera-Saldana *et al* (25) mencionan que solamente el 18 % del total del N del amoníaco inyectado se fijó a la paja (13,48,53,63,69).

Los análisis químicos indicaron que una porción substancial del Nitrógeno amoniacal utilizado fue retenido después de la aereación, trituración mezclado y peletizado (5,6) y que el nivel de retención del nitrógeno varía de acuerdo a la paja, la humedad, temperatura y tiempo de reacción (26).

Herrera-Saldana *et al* (25) mencionan que un alto contenido de humedad parece estar relacionado con una mejor fijación del  $\text{NH}_3$  con la paja. La humedad no ocasionó problemas de crecimiento de moho debido a la acción fungicida de esta sustancia (62,68).

En cuanto a la composición química del forraje se observa un incremento en la proteína cruda, esto se debe al N que se ligó a la paja por medio de la amoniatización, el cual puede utilizarse en la síntesis de proteína microbiana en el rumen en forma similar a otra fuente de nitrógeno no proteínico (NPN) (31), resultados similares encontraron otros investigadores (12,27,29,39,48,72).

Sundstøl *et al* (62) tratando pajas con  $\text{NH}_3$  encontraron que el contenido de N por lo menos se duplica. El incremento de N que se observa al amoniatizar un forraje de mala calidad varía de un 28 a un 379 % (2).

El por que del incremento en la proteína cruda en el tratamiento con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se desconoce, pero se cree que se daba probablemente a la liberación del N enlazado a la lignina posterior al tratamiento con cal (25,26).

La concentración de cenizas aumentó sobre todo en el tratamiento con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ya que éste álcali, contiene un elevado nivel de calcio. En el tratamiento con  $\text{NH}_3$  el aumento de cenizas sugiere que la mayoría del N fue retenido como sal inorgánica la cual aparece en las cenizas (5,6,8,9,10).

Wanapat *et al* (70) y otros autores (5,9,10) encontraron que el alto contenido de cenizas en la paja tratada con álcalis puede influir negativamente en la degradabilidad de la MS.

El tratamiento alcalino con  $\text{NH}_3$  provocó la hidrólisis básica y amonólisis de las ligaduras cruzadas de éster entre las cadenas hemicelulosa-xilán y polímeros de lignina resultando en una ionización de los grupos carboxilo y



amida respectivamente lo que ocasionó la solubilización de la hemicelulosa y como consecuencia disminuyó el contenido de FDN, FDA y celulosa esto concuerda con lo ya mencionado (2,21,39,49,60,70,71). La disminución de FDA para el tratamiento con amoníaco concuerda con lo reportado por Morán *et al* (46) quienes mencionan que el tratamiento con álcali incrementa la solubilidad de la sílica y la lignina en la corteza del arroz y eso podría contribuir para mejorar la digestibilidad de cenizas y fibra cruda (28,47,53,67).

Martínez *et al* (41) no encontraron cambios en la FDA indicando que la solubilidad de ésta fracción no se alteró (22,42); por otro lado Rodríguez *et al* (51) encontraron un incremento en la FDA.

La hemicelulosa disminuyó, lo que ocasionó que el contenido celular se incrementara aumentando con ésto el valor nutritivo de los forrajes de baja calidad (31,39,51).

Lesoinig *et al* (36) encontraron una pequeña solubilización de la celulosa después de 48 horas de incubación la digestibilidad de la celulosa de la paja tratada con 3 % de NaOH + 2 % de Ca(OH)<sub>2</sub> fué incrementada en un 100 %.

Los incrementos en la digestibilidad *in vitro* y la desaparición *in situ* de materia seca con la amoniatización fueron similares a lo encontrado por otros investigadores (24,35,53,59,68) lo que es debido como ya se mencionó a la solubilización de la hemicelulosa-celulosa, el incremento en la fragilidad de la paja y el aumento de superficie de ésta para su degradabilidad por las bacterias, debido a la hidrólisis de las uniones éster del complejo lignocelulósico (2,5).

Los incrementos en la digestibilidad *in vitro* y en la desaparición *in situ* y materia seca en las pajas tratadas con Ca(OH)<sub>2</sub> coincidieron con los resultados obtenidos por otros investigadores (2).

Los resultados de la digestibilidad *in vitro* de las pajas tratadas con  $\text{Ca(OH)}_2$  fueron menores a las observadas en las pajas amoniatizadas lo que concuerda con Bales *et al* (1978), mencionado por Aguilera (2) quienes demostraron que el Ca deprime la digestibilidad *in vitro* cuando se tienen concentraciones mayores de 190 ppm sin embargo se ha propuesto que el  $\text{Ca(OH)}_2$  tiende a incrementar la tasa de digestión (2).

Se ha sugerido que la causa directa del aumento en la digestibilidad de los forrajes tratados es la reducción de la FDN. (28,37,54,71).

Kernan encontró que la digestibilidad resultante después del tratamiento es altamente dependiente de la calidad del material antes del tratamiento y que la efectividad del tratamiento del álcali depende marcadamente de la composición de la dieta de la cual la paja forma parte (33). El mejoramiento en la digestibilidad fué similar a los resultados obtenidos por otros autores (30,33,48).

Brskov *et al* (48) mencionan que el tratamiento de forrajes de baja calidad conduce a una mayor fermentación de éstos en el rumen por lo que es necesario una fuente de NNP y por lo tanto en el caso de usar  $\text{NH}_3$  esta deficiencia de N se cubre automáticamente.

#### EVALUACION DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES.

En la composición química de las dietas experimentales (cuadro 6) se puede apreciar un aumento en la proteína cruda en las dietas tratadas con amoniaco por lo que no se puede dudar que el N ligado al pienso por la amoniatización puede utilizarse para síntesis proteínica en el rumen.

El aumento en las cenizas fué debido a que como ya se mencionó el nitrógeno amoniacal se fijó a la paja en forma de sales inorgánicas y a la cantidad de minerales que por sí mismo contiene el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (2,21,28,39).

El contenido de paredes celulares y hemicelulosa disminuyeron por la hidrólisis de los ésteres de los ácidos urónico y acético del complejo lignocelulósico lo que permite la solubilización de la hemicelulosa y una gran difusión de las enzimas celulolíticas a través del sustrato (12,16,34,53,59).

Aparentemente el contenido de lignina y celulosa disminuyó pero esto no significa un efecto en el contenido de éstas pero sí una solubilización de la hemicelulosa por la hidrólisis de los enlaces éster que une a la lignina con la hemicelulosa y la celulosa (21,22). Rexen and Thomsen (51) encontraron que el tratamiento con álcali afectó más a la celulosa que a los otros componentes.

La igualdad en el consumo voluntario (cuadro 7) de las dietas a pesar del incremento en la digestibilidad *in vitro* (54) se cree que pudo deberse a la gustosidad disminuida de las dietas (39). Es importante señalar las desviaciones estándar altas en los resultados lo cual sugiere que hubo gran variación entre animales, lo cual muestra una confiabilidad no muy exacta esto concuerda con algunos investigadores (2,21).

Bass *et al* (10) encontró que la paja de avena más 5 % de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  fué totalmente impalatable.

Esto contrasta con lo informado por otros autores (23,24,25,26,57) quienes encontraron un aumento en el consumo.

Sin embargo se observó un aumento en el consumo de las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$  y con un porcentaje de inclusión del 75%, esto se debió probablemente al incremento en el contenido de proteína cruda, el

mejoramiento de la digestibilidad de MS y el aumento en la disponibilidad de la hemicelulosa y celulosa (5,6,36,53).

En la digestibilidad *in vivo* se puede observar un efecto de enmascaramiento debido a que la adición de granos y otros ingredientes representan hidratos de carbono fáciles de fermentar lo que ocasiona una disminución en la digestibilidad de la celulosa y hemicelulosa (2,21).

Algunos autores (26,51) han sugerido que la digestibilidad menor *in vivo* que *in vitro* se debe al aumento en la presión osmótica del fluido del rumen lo cual inhibe la actividad microbiana del rumen, otra posibilidad puede ser que debido al aumento en la toma de agua en las dietas tratadas con álcali, la tasa de paso de alimento a través del rumen también aumenta limitando la digestibilidad a niveles menores de lo que sería posible con un paso más lento.

Sin embargo se ha encontrado un incremento en la digestibilidad de la MS debido al tratamiento con amoníaco lo que ocasiona un aumento en la disponibilidad de los hidratos de carbono estructurales (celulosa y hemicelulosa) y el contenido celular (53). Lesoing *et al* (36) mencionan que debido al tratamiento se puede ocasionar un aumento en la retención ruminal de la paja mayor de 48 horas provocando con esto un aumento en el coeficiente de digestibilidad más alto *in vivo* que *in vitro*.

Weiss *et al* (68) encontraron un incremento en la digestibilidad *in vivo* de la materia seca de la paja de arroz de 42-49% justamente con un incremento en el contenido de N de 0.5-1.5 % después del tratamiento con hidróxido de amonio.

Algunos autores han mencionado que el tratamiento de forrajes de baja calidad conduce a una mayor fermentación de éstos en el rumen (42,48).

En cuanto a la digestibilidad *in vitro* y la desaparición *in situ* se pudo observar un efecto de tratamiento y de inclusión de la paja, ambos parámetros mejorados por la amoniatización, lo que indica una mayor disponibilidad de los componentes de la pared celular del forraje para las enzimas apropiadas.

Klopfenstein *et al* (34) reportó que el tratamiento con NaOH incrementó más la digestibilidad *in vitro* que *in vivo*

Sin embargo el mejoramiento de la digestibilidad *in vitro* por el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  es mucho menos efectivo que con el tratamiento con  $\text{NH}_3$ . Se ha sugerido que esto es debido a una menor constante de disociación del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  esto concuerda con lo encontrado por numerosos autores (29,36,38,37,60,69,72).

Algunos autores (47) han encontrado que la respuesta a la suplementación con urea ha sido variable; se ha mostrado que la urea incrementa la digestibilidad reduce el tiempo de retención, promueve el rápido pesoje e incrementa el consumo y la ganancia (24,47).

Los estudios cinéticos son necesarios para comprender el comportamiento de cualquier fermentación o digestión y en general consisten en la medición de las velocidades de utilización de sustrato o formación de productos. En lo referente a la cinética de desaparición de MS (cuadro 8) indica que la posible razón de la misma proporción de pérdida de MS de cada dieta en el tiempo cero puede deberse a que el proceso de secado y molido resultó en aproximadamente la misma cantidad de partículas finas y de polvo en cada dieta que serían rápidamente fermentadas o levadas de la bolsa de nylon (32).

También pudo haber influido un efecto de enmascaramiento de otros nutrimentos sin embargo sí se observó mayor desaparición de MS para las dietas con paja amoniatizada, lo que indica que fue atacada más rápidamente por las bacterias ruminales, lo que influyó disminuyendo el tiempo medio. En todos los casos de cinéticas de degradación se observaron mayores fuentes de variación entre animales y entre días, con lo que se detectaron desviaciones estándar lo suficientemente grandes para disfrazar la respuesta de la amoniatización, ya que en casi todas las cinéticas tendieron a mejorar las digestibilidades con el tratamiento con  $\text{NH}_3$  pero no fueron significativamente diferentes (2).

Ørskov *et al*(48) mencionan que el tiempo medio para la desaparición de forrajes de baja calidad es de 48-72 hrs, Wanapat *et al*(70) encontraron en la desaparición de MS *in situ* una fase de retraso de degradación a las 6 hrs. La tasa de degradación fué más grande después entre las 6-12 hrs de incubación y mayor a las 48 hrs.

En cuanto a la digestibilidad *in vivo* e *in situ* de FDN (cuadro 9) a pesar de la disminución del porcentaje de paredes celulares por el tratamiento y su mejora en el ataque bacteriano por la solubilización de la hemicelulosa no se presentaron diferencias significativas entre dietas, aunque sí hubo una tendencia a mejorar la digestibilidad con el tratamiento de  $\text{NH}_3$  lo que concuerda con otros investigadores (2).

En todas las dietas la hora de inicio de degradación fué entre las 9-24 horas. Saenger (53) encontró que la FDN fué más digestible después de haber sido tratada la paja con  $\text{NH}_3$ .

Numerosos autores han encontrado una correlación positiva significativa entre la digestión de los componentes de la pared celular medida con la bolsa de nylon y los métodos convencionales (2,40,70).

En cuanto a la digestibilidad de N *in vivo* (cuadro 9) se puede observar que fué mayor para las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$  y esto se puede deber al aumento en el aprovechamiento del N por los microorganismos ruminales.

Algunos autores (25) han encontrado que existe una alta correlación entre el nivel y digestibilidad del N y la energía digestible en una dieta, el incremento en la digestibilidad de la energía de la paja tratada puede ser una consecuencia de un elevado nivel de N altamente digestible en la dieta.

Al-Rabbat and Heeney (5) encontró un aumento en la digestibilidad del N y de la energía de la paja con el tratamiento con  $\text{NH}_3$ .

En la desaparición de N *in situ* (cuadro 9) se observó un efecto de inclusión y de tratamiento debido a la fijación del  $\text{NH}_3$  en la paja así las dietas que presentaron la mayor desaparición de N fueron en orden decreciente las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$  y con un porcentaje de 90 % de inclusión, seguida por la paja sin tratar con 90 % de inclusión y la dieta con 75 % de paja tratada con  $\text{NH}_3$ .

Las dietas tratadas con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y la dieta sin tratar con 75 % de inclusión no mostraron diferencias estadísticas.

El tiempo medio de desaparición de N *in situ* fue mayor para las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$  al 75 % debido probablemente a lo mencionado por Morris y Mowat (1980) citado por Aguilera (2) quienes explican que la baja digestibilidad del N se debe a que durante el tratamiento se lleva a cabo la reacción de Maillard donde se une el N con el aldehído de un azúcar haciéndolo indisponible.

Los incrementos en la desaparición de las fracciones de fibra provocados por los tratamientos alcalinos se debieron a la hidrólisis de las uniones éster del complejo lignocelulósico, lo cual ocasiona que el sustrato sea más disponible para los microorganismos ruminales mejorando su digestibilidad.

En lo relativo al pH ruminal (cuadro 12) se encontró un efecto de tratamiento aunque no hubo diferencias significativas, en el promedio si se observó un pH ligeramente más ácido en las dietas tratadas con  $\text{NH}_3$ , sin embargo los valores estuvieron dentro de los rangos normales para todas las dietas y horas lo que concuerda con lo encontrado por algunos autores (2,21,39,72).

Se ha reportado que el  $\text{NH}_3$  y la urea hidrolizada son convertidos a bicarbonato de amonio que contribuye al sistema amortiguador en el rumen lo cual explica porque no hubo diferencias en el promedio del pH entre las 6 dietas (2,21).

Morán (46) menciona que el tratamiento con álcali también estimuló la producción de saliva. Este aumento en la producción de saliva pudo haber tenido un efecto amortiguador del pH ruminal.

Algunos autores encontraron un aumento en el pH ruminal (21,27,47,54), Jackson (26) tratando paja de avena con 3 % de NaOH encontró un incremento en el pH ruminal, lo cual podría contribuir a la reducción del consumo a través de un cambio en la cuenta de protozoarios y una depresión en la actividad microbial.

La producción de  $\text{NH}_3$  ruminal (cuadro 13) aumento en las dietas tratadas con amoniaco en forma significativa a la hora 9 por efecto de tratamiento y el % de inclusión de la paja, lo que indica que el amoniaco adicionado a la paja queda disponible para los microorganismos ruminales, lo que concuerda con lo reportado en varias investigaciones (5,6,24,39,72).



Benahmed (12) tratando paja de trigo con 3 % de  $\text{NH}_3$  encontró una alta concentración de amoníaco en rumen. Sin embargo el aumento en las concentraciones de  $\text{NH}_3$  en el rumen por la paja tratada pueden reflejar un deficiente o disparado aprovechamiento del  $\text{NH}_3$  por la baja concentración de energía a nivel microbial (72) o niveles de producción y de utilización de  $\text{NH}_3$  elevados (2,72).

Morán *et al* (46) encontraron una reducción del  $\text{NH}_3$  ruminal asociado a un aumento en el pH.

Herrera (24) menciona que las altas concentraciones de  $\text{NH}_3$ -N en la paja de trigo amoniatizada sugiere que una fuente de energía y/o un bajo pH son requeridos por el rumiante para tomar un completo beneficio de la adición de N.

Como se aprecia en el cuadro 14 el incremento aunque no significativo en el volumen de sólidos por la amonólisis se puede deber a un incremento en el consumo de materia seca (36), aunque en este trabajo no se elevó el consumo.

El volumen de líquidos estuvo afectado por el tratamiento y el % de inclusión de la paja. El mayor volumen fué para las dietas con 90 % de inclusión de la paja probablemente por el aumento en el consumo de agua y el menor volumen para las dietas con 75 % de inclusión y tratada con  $\text{NH}_3$ .

En lo que se refiere al flujo de sólidos se observó un ligero aumento no significativo en las dietas tratadas con álcali lo que concuerda con otros investigadores (42,47) quienes han observado que al aumentar el volumen se acelera también la velocidad de paso de la ingesta a través del conducto gastrointestinal limitando la digestibilidad a niveles menores de lo que sería posible con un paso más lento (30), sin embargo otros autores han encontrado tasas de pesaje de la digesta bajas (4,16).

Capper (16) menciona que la tasa de pasaje baja a través del tracto alimenticio y el grado de digestión de estos forrajes limita gravemente la energía neta para la producción.

Hogan y Weston (1971) citados por Morán (46) encontraron que la síntesis de proteína bacteriana puede ser precedida por un alto nivel de eficiencia de la paja tratada con álcali y no está influenciada por la tasa de pasaje de la digesta a través del rumen.

La tasa de flujo del líquido ruminal estuvo afectado por el tratamiento (10,47,72) y el % de inclusión de la paja. Este aumento se puede deber probablemente al incremento en el consumo de agua (29,36,38).

Rexen (51) menciona que el incremento en el consumo de agua después del tratamiento puede incrementar las tasas de pasaje del alimento en el rumen, sin embargo este efecto no se observó en este trabajo (36).

En la determinación de las cinéticas de sólidos y líquidos se tuvieron grandes variaciones en las estimaciones experimentales, debido al efecto entre animales y entre días, lo cual concuerda con algunos autores (2).

Al-Rabbat y Heaney (6) mencionan que el alto contenido de digesta ruminal, la tasa de dilución baja y el largo tiempo de retención de la digesta en el rumen puede ser benéfico para el animal ya que permite a la población microbiana una mayor oportunidad de fermentación, no obstante en esta investigación no se encontraron diferencias significativas entre las digestibilidades de las diferentes dietas lo cual puede deberse a una falta de energía para los microorganismos ruminales.

## CONCLUSIONES

- 1.- Los tratamientos alcalinos mejoran la digestibilidad y el contenido nutritivo de los esquilmos agrícolas.
- 2.- El tratamiento alcalino es recomendable cuando se alimenten borregos con un porcentaje alto en la dieta de forrajes fibrosos utilizando un bajo nivel de suplementación.
- 3.- Se deberá estudiar el costo de tratamiento y mano de obra para cada lugar y tratamiento.

## LITERATURA CITADA

- 1.- Aguilera, M.A., Chel. G.L. y Castellanos, R.A.: Estudio comparativo de técnicas para determinar la digestibilidad del alimento de rumiantes y monogástricos. Tec. Pec. Mex. 43: 27-32 (1982).
- 2.- Aguilera, B.A.: Evaluación del efecto de la suplementación de rastrojo amoniatizado sobre la cinética ruminal y digestibilidad en borregos pelibuey. Tesis de Maestría Fac. Est. Sup. Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 1978.
- 3.- Aguilera, B.A., Jurado, A.J., Alcántara, S.E., Juárez, S.M.A., Pérez-Gil, R.F.: Condiciones óptimas para incrementar la digestibilidad de la paja de trigo en ovinos mediante tratamientos con amoníaco anhídrido e hidróxido de calcio. Vet. Mex. 6: 92-95 (1989).
- 4.- Akin, D.E. and Barton, F.E.: Rumen microbial attachment and degradation of plant cell walls. Fed. Proc. 42: 114-121 (1983).
- 5.- Al-Rabbat, M.F., Heaney, D.P.: The effects of anhydrous ammonia treatment of wheat straw and steam cooking of aspen wood on their feeding value and on ruminal microbial activity. I. Feeding value assessments using sheep. Can. J. Anim. Sci. 58: 443-445 (1978).
- 6.- Al-Rabbat, M.F., Heaney, D.P.: The effects of anhydrous ammonia treatment of wheat straw and steam cooking of aspen wood on their feeding value and on ruminal microbial activity. II. Fermentable energy and microbial growth derived from ammonia nitrogen in the ovine rumen. Can. J. Anim. Sci. 58: 453-463 (1978).
- 7.- Anderson, D.C.: Use of cereal residues in beef cattle production systems. J. Anim. Sci. 45: 849-861 (1978).

- 8.- A.D.A.C.: Official Methods of Analysis. 2nd. Ed. Ass. Offic. Agrc. Chem. Washington, 1975.
- 9.- Arriola, L., Shimada, S.A., Martínez, R.L.: Características composicionales de ensilajes de planta de maíz, completa y sin mazorca, sin y con NaOH de cinco edades al corte. Tec. Pec. Méx. 41: 53-62 (1981).
- 10.- Bass, J.M., Parkins, J.J. and Fishmick, G.: The effect of calcium hydroxide treatment on the digestibility of chopped oat straw supplemented with a solution containing urea, calcium, phosphorus, sodium, trace elements and vitamins. Anim. Feed. Sci. Tech. 7: 93-100 (1982).
- 11.- Bateman, J.V.: Nutrición Animal. Manual de Métodos Analíticos. Ed. Herrero Hermanos Sucesores, México, 1970.
- 12.- Benahmed, H., Dulphy, J.P.: Valeur azotée fourrages pauvres, Ann. Zootech. 34: 340-346 (1985).
- 13.- Buettner, M.R.: Effect of ammoniation on the composition and digestion of forage fiber. PhD Thesis. Purdue Univ. West Lafayette, 1978.
- 14.- Cajal, M.C. y Shimada, S.A.: Esquilmos agrícolas y procesamiento de esquilmos. En: Engorda de ganado bovino en corrales. Shimada, S.A., Rodríguez, G.F. y Cuernón, A.J.: Editores Consultores en Producción Animal, S.C. 93-103 (1986).
- 15.- Calderón, G.F., Rojas, R., Shimada, A.S. y Peraza, C.C.: Alimentación de becerros con rastrojo de maíz tratado con álcali. Vel. Mex. 6: 92-95 (1975).
- 16.- Capper, B.S., Morgan, D.J. and Parr, W.H.: Alkali-treated roughages for feeding ruminants: a review. Trop. Sci. 19: 73-88 (1977).
- 17.- Clark, J.L., Hembry, F.G., Thompson, G.B. and Preston, R.L.: Ration effect on polyethylene glycol as a rumen marker. J. Dairy Sci. 55: 1160-1164 (1972).

- 18.- Craig, A.D.: Use of cereal residues in beef cattle productions systems. J. Anim. Sci. **46**: 849-861 (1978).
- 19.- Czarnoki, J., Sibbald, I.R. and Evans, E.U.: The determination of chromic oxide in samples of feed and excreta by acid digestion and spectrophotometry. Can. J. Anim. Sci. **41**: 167-169 (1961).
- 20.- Dehorthy, B.A.: Hemicellulose degradation by rumen bacteria. Fed. proc. **32**: 1819-1825 (1973).
- 21.- Gutierrez, L. A.H.: Influencia del rastrojo de maíz tratado con hidróxido de calcio y amoniaco anhidro sobre la fermentación ruminal en ovinos. Tesis de licenciatura. Fac. de Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 1987.
- 22.- Harbers, L.H., Kretzner, G.L., Davis, G.V.Jr., Rasmussen, M.A. and Corah, L.R., Ruminal digestion of ammonium hydroxide-treated wheat straw observed by scanning electron microscopy. J. Anim. Sci. **64**: 1309-1319 (1982).
- 23.- Hasilmoglu, S., Klopfenstein, J.J. and Doane T.H.: Nitrogen Source with sodium hydroxide treated wheat straw. J. Anim. Sci. **49**: 160-165 (1969).
- 24.- Herrera-Saldana, R., Church, D.C. and Kellems, R.D.: The effect of ammoniation treatment on intake and nutritive value of wheat straw. J. Anim. Sci. **54**: 603-608 (1982).
- 25.- Herrera-Saldana, R., Church, D.C. and Kellems, R.D.: Effect of ammoniation treatment of wheat straw on in vitro and in vivo digestibility. J. Anim. Sci. **56**: 938-942 (1983).
- 26.- Jackson, M.G.: Review Article: The alkali treatment of straws. Anim. Feed Sci. Technol. **2**: 105-130 (1977).
- 27.- Jackson, M.G.: Métodos de tratamiento de la paja para la alimentación animal. Estudio F.A.O. Producción y Sanidad Animal 10, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 1978.

- 28.- Jiménez, D.A. y Shimada, S.A.: Comportamiento del borrego pelibuey en crecimiento, alimentado con dietas a base de rastrojo de maíz tratado con álcalis (NH<sub>3</sub>, NaOH y urea). Tec. Pec. Mex. 47: 142-146 (1984).
- 29.- Jurado, A.J.: Optimización del tratamiento alcalino de la paja de trigo mediante pruebas de digestibilidad en ovinos. Tesis de licenciatura. Fac. de Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 1988.
- 30.- Juul-Nielsen, J.: Prueba alimenticia in vitro para la evaluación de los valores energéticos y productivos de la paja, sub-productos industriales y recursos energéticos para la alimentación de ganado bovino. Prod. Anim. Trop. 6: 314-327 (1981).
- 31.- Kellaway, R.C. y Leibholz, J.: Efectos de los suplementos nitrogenados en la ingestión y la utilización de forrajes de baja calidad. Rev. Mun. Zoot. 48: 33-37 (1983).
- 32.- Kampton, T.J.: El uso de las bolsas de nylon para caracterizar el potencial de degradabilidad de alimentos para el rumiante. Prod. Anim. Trop. 5: 115-126 (1980).
- 33.- Kernan, A. J., Crowle, L.W., Spurr, T.D. and Coxworth, C. E.: Straw quality of cereal cultivars before and after treatment with anhydrous ammonia. Can. J. Anim. Sci. 59: 511-517 (1979).
- 34.- Klopfenstein, T.J., Krause, V.E., Jones, M.J. and Woods, W.: Chemical Treatments of low quality roughages. J. Anim. Sci. 35: 418-425 (1972)
- 35.- Kolankaya, N. and Stewart, C.S.: The effect of ammonia treatment on the degradation of straw and growth of some cellulolytic rumen bacteria. Abstract presented at the OECD Workshop, Grassland Research Institute, Hurley, 15-17 (1983).
- 36.- Lesoin, G., Klopfenstein, T., Rush, I. and Ward, J.: Chemical treatment of wheat straw. J. Anim. Sci. 51: 263-269 (1981).

- 37.-Llamas, L.G.F., Cañez, C.H., Gómez, A.R., Díaz, N.T. y Romero García, H.: Uso de paja de trigo tratada con amoníaco en la alimentación de novillos en crecimiento en corral de engorda. Tec. Pec. Mex. 48: 46-50 (1985).
- 38.-Malawer, S.J. and Powell, W.: An improved turbidimetric analysis of polyethylene glycol utilizing and emulsifier. Gastroenterology, 53: 250-256 (1967).
- 39.-Males, J.R. and Gaskins, C.T.: Growth, nitrogen retention, dry matter digestibility and ruminal characteristics associated with ammoniated wheat straw diets. J. Anim. Sci. 55: 505-515 (1982).
- 40.-Mapoon, L.K.: Degradabilidad de algunos forrajes altos en proteínas en el rumen. Prod. Anim. Trop. 5: 58-61 (1980).
- 41.-Martínez, A.A.M.M., Soriano, T.J. y Shimada, S.A.: Crecimiento de borregos pelibuey alimentados con rastrojo de maíz tratado con amoníaco anhidro. Tec. Pec. Mex. 48: 54-61 (1985).
- 42.-Maynard, L.A., Loosly, J.K., Hintz, H.F. and Warner, R.G.: Nutrición Animal. 7a. ed. McGraw Hill, México, D.F., 1981.
- 43.-Mehrez, A.Z. and Ørzkov, E.R.: A study of the artificial filme bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. J. Agric. Sci. Can. 88: 645-650 (1977).
- 44.-Mertens, D.R. and Ely, L.D.: Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization. A dynamic model evaluation. J. Anim. Sci. 54: 895-905 (1982).
- 45.-Minson, D.J. and McLeod, M.N.: The in vitro technique its modification for estimating digestibility of large numbers of tropical pasture sample. División of Tropical Pasture, Technical paper No. 8 Research Organization, Australia 1-5 (1972).
- 46.-Moren, J.B., Satoto, K.B. and Dawson, J.E.: The utilization of rice straw fed to zebu cattle and swamp buffalo as influenced by alkali treatment and *leucaena* supplementation. Aust. J. Agric. Res. 34: 73-84 (1983).



- 47.-Ørzkov, E.R. and Grubb, D.A.: Validation of new systems for proetin evaluation in ruminants by testing the effect of urea supplementation on intake and digestibility of straw with or without sodium hydroxide treatment. J. Agric. Sci., Camb. 91: 483-486 (1978).
- 48.-Ørzkov, E.R., Howell, F.D., De B y Mould, F.: Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de los alimentos. Prod. Anim. Trop. 5: 213-233 (1980).
- 49.-Pigden, W. and Heaney, D.P.: Lignocelulose in ruminant nutrition. In: Celluloses and their applications., 245-261. American Chemical Society, Advances In Chemistry, Series 95. Washington, D.C. 1969.
- 50.-Pigden, W. y Bander, F.: Aprovechamiento de la lignocelulosa por los rumiantes. Ruta Mundial de Zoot. 4: 7-10 (1972).
- 51.-Rexen, F. and Thomsen, R.V.: The effect on digestibility of a new technique for alkali treatment of straw. Anim. Feed Sci. Technol. 1: 73-83 (1976).
- 52.-Rodríguez, G.F., Zorrilla, R. J., Muñoz, N. C., Arellano, M.L.: Efectos de tratamiento con hidróxido de amonio y urea, humedad y tiempo en la composición de la paja de frijol. Tec. Pec. Méx. 49: 42-49 (1985).
- 53.-Saenger, P.F., Lemenager, R.P. and Hendrix K.S.: Anhydrous ammonia treatment of corn stover and its effects on digestibility, intake and performance of beef cattle. J. Anim. Sci. 54: 419-425 (1982).
- 54.-Sánchez, E.J.: Cambios en la composición química y digestibilidad de forrajes de baja calidad nutritiva, mediante el uso de diversos compuestos químicos. Tec. Pec. Méx. 31: 68-74 (1976).
- 55.-S.A.R.H.: Producción anual de esquilmos agrícolas y subproductos industriales para la alimentación animal, (1986).
- 56.-S.A.R.H.: Alimentación animal aplicada, Cocoyoc, Mor. Mex. (1984).

- 57.- Saxena, K.S., Otterby, E.D., Donker, D.J. and Good, L.A.: Effects of feeding alkali-treated oat straw supplemented with soybean meal or non-protein nitrogen on growth of lambs and on certain blood and rumen liquor parameters. J. Anim. Sci. **33**: 485-490 (1971).
- 58.- Shimada, S.A.: Fundamentos de nutrición animal comparativa. 1a ed. Patronato de apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México. (1983).
- 59.- Solaiman, S.G., Horn, G.W. and Owens, F.N.: Ammonium hydroxide treatment on wheat straw. J. Anim. Sci. **49**: 802-808 (1979).
- 60.- Sosa de Pro, E.: Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal.: Universidad Autónoma de Chapingo, México. 1981.
- 61.- Streeter, C.L. and Horn, G.W.: Effect of treatment of wheat straw with ammonia and paracetic acid on digestibility *in vitro* and wall composition. Anim. Feed Sci. Tech. **7**: 325-329 (1982).
- 62.- Sundstøl, F., Coxworth, E. y Mowat, D.N.: Mejora del valor nutritivo de la paja mediante tratamiento con amoníaco. Revta Mundial de Zoot. **26**: 13-21 (1978).
- 63.- Tejada, R., Murillo, B. y Cabezas, M.T.: Paja de trigo tratada con amoníaco como sustituto de ensilaje de maíz para corderos en crecimiento. Prog. Anim. Trop. **4**: 173-178 (1979).
- 64.- Tilley, J.M.D. and Terry, R.A.: A two stage technique for the *in vitro* digestion of forages. J. British Grassland Soc. **18**: 104-109 (1963).
- 65.- Urrutia, M.J., Martínez Rojas, L. y Shimada, S.A.: Valor nutritivo del rastrojo y ensilaje de maíz con y sin mazorca, tratados con hidróxido de sodio para borregos en crecimiento. Tec. Pec. Mex. **42**: 7-16 (1982).
- 66.- Van Soest, P.J. and Wine, R.H.: Determination of ligning and cellulose in ácid-detergent fiber with permanganate. J.A.O.A.C. **51**: 780-785 (1968).

- 67.-Waagepetersen, J. and Vestergaard, T.: Effect on digestibility and nitrogen content of barley straw of different ammonia treatments. Anim. Feed. Sci. Technol. 2: 131-142 (1977).
- 68.-Weiss, A.C., Guggolz, J., Kohler, G.O., Walker, H.G. and Garret, W.N.: Improving digestibility of straws for ruminant feed by aqueous ammonia. J. Anim. Sci. 35: 109-112 (1972).
- 69.-Waller, J.C. and Klopfenstein, T.: Hidroxides for treating crop residues. J. Anim. Sci. 4: 424-430 (1975).
- 70.-Wenapat, M., Sundstol, F. and Hall, J.M.R.: A comparison of alkali treatment methods used to improve the nutritive value of straw. II. In sacco and *in vitro* degradation relative to *in vivo* digestibility. Anim. Feed. Sci. Technol., 14: 215-220 (1986).
- 71.-Wang, P.y., Bolker, H.I. and Purves, C.B.: Ammonolysis of uronic ester groups in birch xylan. Can. J. Chem. 42: 24-34 (1964).
- 72.-Zorrilla-Rios, J., Owens, F.N., Horn, G.W. and McNew, R.W.: Effect of ammoniation of wheat straw on performance and digestion kinetic in cattle. J. Anim. Sci. 60: 814-821 (1985).

## FIGURAS

Figura 1

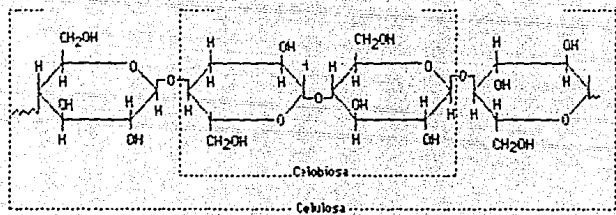
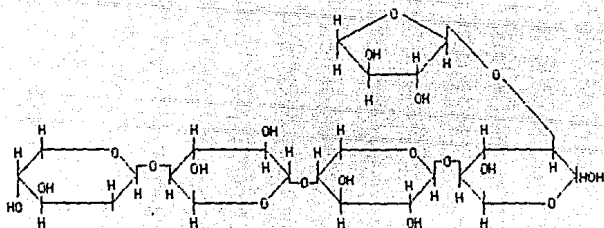
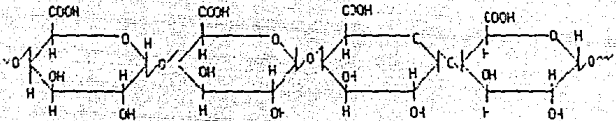


Figura 2



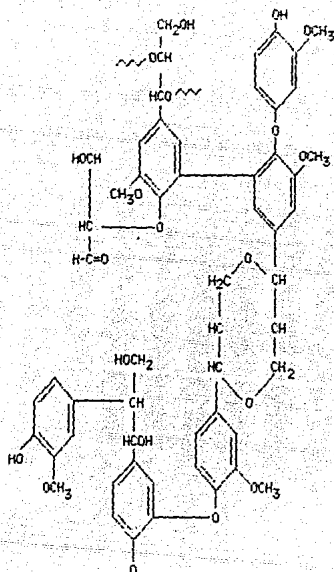
Fragmento de una molécula de xilano con ramificaciones.

Figura 3



Fragmento de una molécula de pectina

Figura 4



Fórmula estructural de un fragmento de lignina.

Figura 5

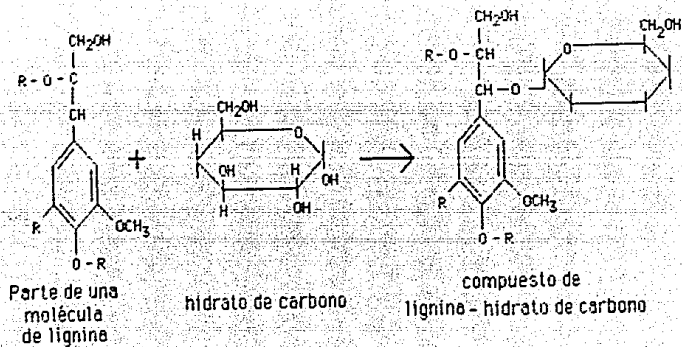
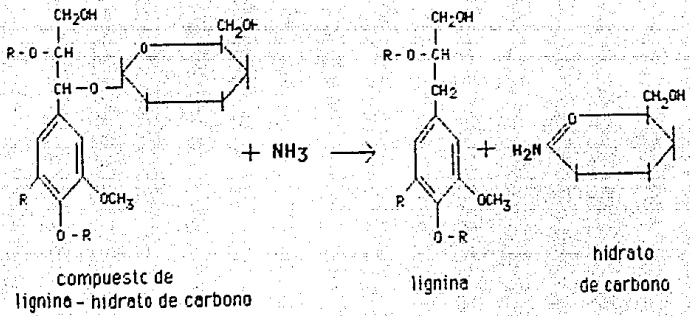




Figura 6



## CUADROS

Cuadro 1

COMPOSICION QUIMICA DE VARIOS ESQUILMOS AGRICOLAS (% M.S.) (11)

Esquilmo	Proteina cruda	Paredes celulares	Celulosa	Hemi- celulosa	Lignina	Silice	Digesti- bilidad
Algodón, cajilla	11.9	—	30.2	—	12.6	—	25.3
Arroz, paja	5.0	—	37.0	17.4	4.4	14.2	46.4
Avena, paja	5.2	73.0	46.0	16.9	10.5	2.7	47.9
Cebada, paja	4.1	81.0	36.0	22.8	5.4	6.6	37.9
Maíz, rastrojo	6.9	68.1	31.3	25.5	7.9	13.2	49.3
Sorgo, rastrojo	5.6	83.7	31.4	26.4	5.5	3.0	43.0
Trigo, paja	4.3	—	39.5	24.1	7.7	6.0	40.0

Cuadro 2

## TRATAMIENTOS DE LA PAJA PARA ALIMENTACION ANIMAL (29)

<u>FISICOS*</u>	<u>QUIMICOS**</u>	<u>BIOLOGICOS***</u>
Molienda	NaOH	Hongos del género
Cocción a presión	H <sub>2</sub>	<u>Pleurotus florida</u> y
Picado	Ca(OH) <sub>2</sub>	<u>Pleurotus ostreatus</u>
Peletizado	CaOH	
Irradiación	KOH	
Tratamientos hidrotérmicos	NH <sub>4</sub> OH	
Tratamientos por calor seco	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	

\* Estos aumentan la velocidad de paso del alimento por el tracto digestivo ya que el alimento permanece menos tiempo en el rumen-retículo y por consiguiente aumenta también la ingesta.

\*\* Aumentan el consumo voluntario y el valor nutritivo de las pajas.

\*\*\* Estos hongos degradan en su mayor parte la lignina.

Cuadro 3

DIGESTIBILIDAD Y CONTENIDO DE PROTEINA CRUDA DE PAJAS Y  
 RASTROJOS TRATADOS Y SIN TRATAR CON AMONIACO ANHIDRO (56)

Producto	NH <sub>3</sub> %	Proteína%		Digestibilidad%	
		ST	T	ST	T
Avena, paja	3.5	2.2	06.6	48.7	64.6
Cebada, paja	3.5	7.7	12.8	55.4	62.8
Maíz, mazorca	3.0	4.2	09.3	42.7	47.9
Maíz, rastrojo	3.0	8.8	17.1	51.6	60.1
Soya, paja	4.0	4.9	14.1	41.1	47.1
Trigo, paja	5.0	3.6	09.1	39.6	41.9

ST= Sin tratar

T = Tratado

Cuadro 4

COMPOSICION DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES PARA LAS PRUEBAS  
METABOLICAS EN OVINOS\*

Ingredientes	NH <sub>3</sub>		Ca(OH) <sub>2</sub>		ST	
	1	2	3	4	5	6
Paja de avena 2 % NH <sub>3</sub>	75	90				
paja de avena 3% Ca(OH) <sub>2</sub>			75	90		
Paja de avena sin tratar					75	90
Pasta de girasol	7.0	—	7.0	—	7.0	—
Sorgo	9.5	—	9.5	—	9.5	—
Melaza	7.5	8.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Minerales	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Urea	—	0.5	—	1.5	—	1.5

\* % Base a materia seca.

Vit. A, D y E 2 ml vía parenteral.

Cuadro 5

COMPOSICION QUIMICA Y DIGESTIBILIDAD DE LA PAJA DE AVENA TRATADA  
Y SIN TRATAR CON  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  Y  $\text{NH}_3$ .\*

Nutrimiento	Paja de avena/ $\text{NH}_3$	Paja de avena/ $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Paja de avena ST
Proteína cruda (N X 5.70)	14.82 ± 0.4 <sup>a</sup>	6.63 ± 0.1 <sup>b</sup>	5.22 ± 0.1 <sup>c</sup>
Cenizas	8.78 ± 0.0 <sup>a</sup>	9.43 ± 0.0 <sup>b</sup>	6.99 ± 0.0 <sup>c</sup>
FDN	57.45 ± 1.6 <sup>a</sup>	63.66 ± 0.3 <sup>b</sup>	67.68 ± 0.9 <sup>c</sup>
FDA	37.15 ± 1.4 <sup>a</sup>	40.43 ± 0.1 <sup>b</sup>	42.44 ± 0.0 <sup>b</sup>
Hemicelulosa	20.29 ± 3.0 <sup>a</sup>	23.23 ± 0.1 <sup>ab</sup>	25.24 ± 0.9 <sup>b</sup>
Celulosa	27.91 ± 1.1	31.58 ± 0.3	32.73 ± 0.6
Lignina	6.23 ± 0.7	6.40 ± 0.0	7.23 ± 0.4
Digestibili- dad <i>in vitro</i> de MS (48 h)	74.46 ± 2.0 <sup>a</sup>	61.92 ± 0.0 <sup>b</sup>	66.32 ± 1.4 <sup>b</sup>
Desaparición <i>in situ</i> de MS	59.47 ± 0.4 <sup>a</sup>	46.65 ± 1.4 <sup>b</sup>	41.93 ± 2.2 <sup>b</sup>

\* % Base a materia seca.

FDN = Fibra detergente neutro.

FDA = Fibra detergente ácida.

a, b, c. Para cada columna, valores con distinta literal son diferentes estadísticamente ( $P < 0.05$ ).

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Cuadro 6

## COMPOSICION QUIMICA DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES\*

Nutrimento	NH <sub>3</sub>		Ca(OH) <sub>2</sub>		ST	
	1	2	3	4	5	6
Materia seca	93.9±7.7	93.4±1.4	93.5±2.9	94.1±3.2	94.0±1.6	93.9±1.5
Proteína cruda (N X 6.25)	14.4 a	16.4 b	8.4 c	9.8 d	8.9 a	10.7 bc
Cenizas	8.9 ±0.2 a	10.6 ±0.6 b	9.7 ±0.2 cd	11.4 ±0.5 d	8.5 ±0.5 cd	10.2 ±0.4 ac
FDN	54.8 ±0.3 a	50.8 ±1.1 a	57.4 ±0.4 b	59.1 ±0.3 c	57.9 ±1.3 d	56.7 ±0.1 d
FDA	30.5 ±0.5 ac	31.1 ±0.2 b	34.8 ±0.1 ac	37.8 ±0.1 c	32.8 ±0.7 a	33.2 ±0.0 b
Hemif- celulosa	24.3 ±0.8 a	19.6 ±0.9 ab	24.5 ±1.1 ab	25.8 ±0.3 b	23.0 ±1.2 ab	18.8 ±0.0 ab
Celulosa	23.6 ±0.7	24.6 ±1.8	27.1 ±0.7	29.3 ±0.3	24.8 ±1.0	24.0 ±0.0
Lignina	4.4 ±0.3	4.1 ±0.4	5.4 ±0.9	6.5 ±0.1	6.5 ±0.4	5.7 ±0.1

\*Base a materia seca.

a, b, c: Para cada parámetro, valores con distinta literal son diferentes estadísticamente (P &lt; 0.05)

Cuadro 7

CONSUMO VOLUNTARIO, DIGESTIBILIDAD *IN VIVO* E *IN VITRO* Y  
DESAPARICION *IN SITU* DE MATERIA SECA DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES\*

PARAMETRO	NH <sub>3</sub>		Ca(OH) <sub>2</sub>		ST	
	1	2	3	4	5	6
Consumo Voluntario (Kg/día)	1683.3 ±54.8	1474.9 ±141.7	1574.9 ±43.5	1437.5 ±220.7	1616.6 ±23.3	1447.3 ±54.9
Digest. <i>in vivo</i> de M.S. (%)	63.49 ±3.43	66.62 ±1.13	62.43 ±3.43	58.28 ±2.39	60.03 ±3.83	62.04 ±0.70
Desapa- rición <i>in situ</i> de M.S. 24h (%)	ab 50.40 ±2.56	a 56.20 ±5.70	ab 47.89 ±3.75	b 43.23 ±6.65	ab 46.37 ±3.94	ab 53.90 ±3.99
Digest. <i>in vitro</i> de M.S. 48 h (%)	a 71.34 ±0.28	ao 67.74 ±0.28	b 62.24 ±1.04	bo 65.84 ±1.36	b 63.70 ±0.09	bc 65.27 ±1.07

\* En base a materia seca

a,b,c: Para cada parámetro, valores con distinta literal son diferentes estadísticamente (P<0.05)



Cuadro 8

CINETICA DE DESAPARICION // 5/7// DE MATERIA SECA DE LAS DIETAS  
EXPERIMENTALES (%)

Hora	NH <sub>3</sub>		Ca(OH) <sub>2</sub>		ST	
	1	2	3	4	5	6
0	A 37.2 ± 2.7	A 42.2 ± 2.3	A 34.5 ± 0.7	AB 36.3 ± 0.1	A 33.2 ± 4.3	A 38.1 ± 0.3
3	acAB 41.3 ± 2.5	aA 43.2 ± 0.6	dA 33.4 ± 1.5	dA 33.9 ± 1.6	bdAB 36.1 ± 0.6	bcA 38.5 ± 0.6
6	ab 44.2 ± 1.7	aA 43.6 ± 3.1	bA 34.4 ± 2.9	abAB 37.6 ± 3.5	abBC 38.9 ± 2.8	aA 41.9 ± 2.1
9	ab 46.9 ± 4.5	aA 47.0 ± 1.7	bA 37.3 ± 1.7	bAB 38.0 ± 5.6	abCD 42.7 ± 2.9	abA 43.7 ± 0.4
24	abC 50.4 ± 2.5	ab 56.2 ± 5.7	abB 47.9 ± 3.7	bB 43.2 ± 6.7	abD 46.4 ± 3.9	abB 53.9 ± 3.9
1/2 (h)	74.2 ± 15.1	60.3 ± 24.4	73.8 ± 32.7	85.4 ± 21.3	74.6 ± 24.8	58.3 ± 20.1

a, b, c, d: Para cada renglón (entre dietas), valores con distinta literal son diferentes estadísticamente (P < 0.05).

A, B, C, D: Para cada columna (entre horas), valores con distinta literal son diferentes estadísticamente (P < 0.05).

Cuadro 9

## DIGESTIBILIDAD IN VIVO Y DESAPARICION IN SITU DE NITROGENO Y FON DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES\*.

PARAMETRO	NH <sub>3</sub>		Ca(OH) <sub>2</sub>		ST	
	1	2	3	4	5	6
Digestibilidad <u>in vivo</u> de FDN (%)	60.9 ±1.8	62.2 ±3.9	57.9 ±5.4	56.0 ±2.7	53.7 ±4.0	58.3 ±1.3
Desaparición <u>in situ</u> de FDN 24 h (%)	27.4 ±4.3	34.1 ±5.2	26.3 ±0.9	24.6 ±2.9	25.3 ±2.9	31.7 ±5.6
Digestibilidad <u>in vivo</u> de N (%)	79.9 ±3.3 <sup>ab</sup>	81.4 ±4.8 <sup>a</sup>	67.0 ±0.7 <sup>b</sup>	75.3 ±8.0 <sup>ab</sup>	68.8 ±6.9 <sup>ab</sup>	77.2 ±7.2 <sup>ab</sup>
Desaparición <u>in situ</u> de N 24 h (%)	71.5 ±0.8 <sup>ab</sup>	77.5 ±1.9 <sup>a</sup>	53.0 ±7.4 <sup>o</sup>	62.9 ±8.2 <sup>bo</sup>	60.1 ±3.7 <sup>bo</sup>	76.2 ±2.9 <sup>a</sup>

\* En base a materia seca

a, b, c: Para cada parámetro, valores con distinta literal son diferentes estadísticamente (P &lt; 0.05)

Cuadro 10

CINETICA DE DESAPARICION // SITU DE FDN EN OVINOS ALIMENTADOS CON LAS DIETAS EXPERIMENTALES (%)

Hora	NH <sub>3</sub>		Ca(OH) <sub>2</sub>		ST	
	1	2	3	4	5	6
3	14.6 ± 4.38 <sup>ba</sup>	13.2 ± 0.84 <sup>abA</sup>	12.7 ± 1.70 <sup>abA</sup>	10.4 ± 2.10 <sup>Ab</sup>	14.2 ± 0.59 <sup>abAB</sup>	8.8 ± 1.79 <sup>aA</sup>
6	19.4 ± 2.97 <sup>aAB</sup>	14.7 ± 2.20 <sup>abA</sup>	16.0 ± 2.40 <sup>abA</sup>	13.4 ± 1.90 <sup>bAB</sup>	15.8 ± 1.24 <sup>abBC</sup>	14.6 ± 1.32 <sup>abA</sup>
9	23.9 ± 3.82 <sup>abc</sup>	15.4 ± 2.37 <sup>ba</sup>	17.3 ± 3.10 <sup>AbB</sup>	14.5 ± 0.69 <sup>bB</sup>	19.3 ± 1.40 <sup>abC</sup>	16.0 ± 2.96 <sup>ba</sup>
24	27.4 ± 4.80 <sup>C</sup>	34.1 ± 5.20 <sup>B</sup>	26.3 ± 0.90 <sup>B</sup>	24.6 ± 2.90 <sup>C</sup>	25.3 ± 2.98 <sup>D</sup>	31.8 ± 5.60 <sup>B</sup>
1/2 (h)	88.9 ± 20.8 <sup>ab</sup>	48.9 ± 15.3 <sup>a</sup>	65.7 ± 4.5 <sup>ab</sup>	85.1 ± 12.1 <sup>ab</sup>	95.5 ± 18.9 <sup>b</sup>	62.6 ± 22.1 <sup>ab</sup>

a,b,c,d: Para cada renglón (entre dietas), medias con distinta literal son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

A,B,C,D: Para cada columna (entre horas) medias con distinta literal son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

Cuadro 11

CINETICA DE DESAPARICION DE NITROGENO *IN SITU* DE LAS DIETAS  
EXPERIMENTALES (%)

Hora	NH <sub>3</sub>		Co(OH) <sub>2</sub>		ST	
	1	2	3	4	5	6
3	<sup>aA</sup> 67.4 ± 1.6	<sup>a</sup> 71.6 ± 1.07	<sup>bAB</sup> 46.4 ± 3.72	<sup>c</sup> 57.6 ± 4.7	<sup>bc</sup> 49.8 ± 5.31	<sup>aA</sup> 69.1 ± 3.10
6	<sup>abAB</sup> 68.1 ± 0.98	<sup>a</sup> 72.7 ± 6.41	<sup>cA</sup> 45.9 ± 2.98	<sup>ab</sup> 65.9 ± 2.03	<sup>b</sup> 57.5 ± 6.50	<sup>aAB</sup> 71.5 ± 0.79
9	<sup>aAB</sup> 70.6 ± 2.9	<sup>a</sup> 74.6 ± 2.36	<sup>cAB</sup> 47.4 ± 4.81	<sup>b</sup> 59.5 ± 5.5	<sup>b</sup> 58.9 ± 5.17	<sup>aAB</sup> 72.8 ± 0.81
24	<sup>abB</sup> 71.5 ± 0.89	<sup>a</sup> 77.5 ± 1.97	<sup>cB</sup> 53.0 ± 7.44	<sup>bc</sup> 62.9 ± 8.2	<sup>bc</sup> 60.1 ± 3.75	<sup>aB</sup> 76.2 ± 2.96
1/2 (h)	118.0 ± 10.3	75.6 ± 28.6	79.5 ± 18.3	45.4 ± 17.2	88.7 ± 33.2	66.9 ± 23.3

a, b, c, d: Para cada región (entre dietas) medias con distinta literal son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

A, B, C, D: Para cada columna (entre horas) medias con distinta literal son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

Cuadro 12

CINETICA DE pH RUMINAL DE OVINOS ALIMENTADOS CON LAS DIETAS  
EXPERIMENTALES

Hora	NH <sub>3</sub>		Ca(OH) <sub>2</sub>		ST	
	1	2	3	4	5	6
0	6.71 ± 0.20	6.63 ± 0.33	6.73 ± 0.22	6.70 ± 0.36	6.81 ± 0.27	6.76 ± 0.42
3	6.43 ± 0.47	6.41 ± 0.36	6.56 ± 0.23	6.65 ± 0.31	6.51 ± 0.28	6.53 ± 0.30
6	6.30 ± 0.33	6.15 ± 0.65	6.53 ± 0.22	6.56 ± 0.49	6.43 ± 0.28	6.51 ± 0.28
9	6.40 ± 0.26	6.20 ± 0.62	6.58 ± 0.30	6.50 ± 0.36	6.45 ± 0.31	6.38 ± 0.48
24	6.63 ± 0.16	6.31 ± 0.27	6.81 ± 0.23	6.80 ± 0.17	6.73 ± 0.43	6.85 ± 0.26
K	6.49 ± 0.17	6.34 ± 0.19	6.63 ± 0.12	6.64 ± 0.12	6.59 ± 0.18	6.61 ± 0.19

Cuadro 13

CINETICA DE PRODUCCION DE  $\text{NH}_3$  RUMINAL DE LAS DIETAS  
EXPERIMENTALES

Hora	$\text{NH}_3$		$\text{Ca(OH)}_2$		ST	
	1	2	3	4	5	6
0	57.5 ±15.4	52.4 ±6.4	47.8 ±3.9	52.7 ±19.2	43.7 ±16.7	49.7 ±10.7
3	40.2 ±9.9	60.8 ±9.3	42.7 ±14.5	58.3 ±14.1	56.3 ±32.5	43.0 ±9.2
6	35.7 ±11.1	50.5 ±0.6	39.3 ±16.8	41.7 ±14.2	67.7 ±30.0	52.0 ±20.5
	ab	a	b	b	ab	b
9	52.7 ±0.9	61.7 ±8.6	33.7 ±9.4	29.8 ±20.2	47.8 ±10.9	32.5 ±6.4
X	43.8 ±10.2	53.0 ±5.5	39.4 ±5.9	47.7 ±12.6	53.6 ±10.6	42.6 ±9.0

a, b: Para cada parámetro (renglón), valores con distinta literal son diferentes estadísticamente ( $P < 0.05$ ).

Cuadro 14

CINETICA DE SOLIDOS Y LIQUIDOS EN RUMEN DE BORREGOS ALIMENTADOS CON  
LAS DIETAS EXPERIMENTALES

Parámetro	NH <sub>3</sub>		Ca(OH) <sub>2</sub>		ST		
	1	2	3	4	5	6	
Volumen	(kg)	1.09 ± 0.13	1.08 ± 0.18	0.83 ± 0.21	0.93 ± 0.43	0.78 ± 0.30	0.85 ± 0.36
	(L)	a 2.99 ± 0.53	bc 6.30 ± 0.98	ac 4.10 ± 0.29	a 3.52 ± 0.50	ab 5.00 ± 1.35	b 6.90 ± 1.03
T1/2 (h)	(S)	13.61 ± 1.70	17.85 ± 3.23	11.13 ± 2.74	13.76 ± 1.67	14.92 ± 3.54	16.46 ± 6.99
	(L)	ab 17.15 ± 4.94	ab 10.4 ± 1.12	ab 12.08 ± 2.86	b 17.66 ± 5.82	ab 14.25 ± 4.93	a 9.67 ± 2.32
Flujo (Kg/24h)	(S)	0.98 ± 0.28	0.73 ± 0.01	0.90 ± 0.14	0.83 ± 0.40	0.62 ± 0.17	0.64 ± 0.15
	(L)	a 2.28 ± 1.03	bc 7.25 ± 0.42	ac 4.22 ± 1.16	a 2.67 ± 1.35	ab 4.87 ± 2.84	b 8.76 ± 1.70
Tasa de Dilución (t-1)	(S)	0.89 ± 0.11	0.69 ± 0.13	1.12 ± 0.28	0.88 ± 0.11	0.84 ± 0.19	0.85 ± 0.45
	(L)	a 0.74 ± 0.21	ab 1.16 ± 0.12	ab 1.03 ± 0.22	a 0.74 ± 0.27	ab 0.92 ± 0.34	b 1.29 ± 0.29

a, b, c: Para cada parámetro (renglón), valores con distinta literal son diferentes estadísticamente (P < 0.05)

S= Sólidos

L= Líquidos