



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
GUAUTITLAN**



11662

1
26

**DIGESTION RUMINAL DE DIETAS CON MAIZ O SORGO
PROCESADOS, POLLINAZA Y NIVELES CRECIENTES
DE FORRAJE EN NOVILLOS BRAHMAN**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN EL AREA DE
NUTRICION ANIMAL**

P R E S E N T A :

JOSE DE JESUS MALDONADO MENDEZ

ASESOR:

Ph. D. JUAN DE DIOS GARZA FLORES

AJUCHITLAN, QRO.

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVÍCOLA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES-CUAUTITLAN

COORDINACION GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CARTA DE VOTOS APROBATORIOS

**Coordinación General de Estudios de Posgrado
FES - Cuautitlán
Presente.**

Por medio de la presente nos permitimos comunicar a usted que revisamos la tesis titulada "DIGESTION RUMINAL DE DIETAS CON MAIZ O SORGO PROCESADO, POLLINAZA Y NIVELES CRECIENTES DE FORRAJE EN NOVILLOS BRAHMAN"

que presenta el (la) alumno (a) JOSE DE JESUS MALDONADO MENDEZ

con Núm. de cuenta 9380696-9 N° Exp. 100931013
para obtener el grado de MAESTRIA EN NUTRICION ANIMAL

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el Examen de Grado correspondiente, otorgamos el voto aprobatorio.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

_____ a _____ de _____ de 19 _____

NOMBRE DE LOS SINODALES

PRESIDENTE: DR. ARMANDO SHIMADA MIYASAKA

VOCAL: M.C. IRMA TEJADA CASTAÑEDA

SECRETARIO DR. MOISES MONTAÑO BERMUDEZ

1er. SUPL. DR. JOSE LUIS ROMANO MUÑOZ

2do. SUPL. DR. JUAN DE DIOS GARZA FLORES

Armando
M. Montano B.
José Luis
Juan de Dios

DIGESTION RUMINAL DE DIETAS CON MAIZ O SORGO PROCESADOS, POLLINAZA Y NIVELES CRECIENTES DE FORRAJE EN NOVILLOS BRAHMAN

RESUMEN

José de Jesús Maldonado Méndez.
Asesor: Ph. D. Juan de Dios Garza Flores.

Se realizaron dos experimentos, para evaluar los efectos de la especie de grano (maíz vs. sorgo), su proceso (rolado vs. molido), y la inclusión de niveles (15, 20, 25 y 30%) de rastrojo de sorgo (RS); en el consumo de agua (CA), la digestibilidad aparente (DA), la cinética y la fermentación ruminal: Experimento 1, cuatro novillos Brahman con cánulas ruminales fueron alimentados durante 64 días, de acuerdo a un diseño en Cuadro Latino 4x4 con los siguientes tratamientos: 1) maíz blanco rolado (MR), 2) sorgo rolado (SR), 3) maíz blanco molido (MM) y sorgo molido (SM). El alimento se ofreció una vez al día (0800 h) al 2.7% del peso vivo (BS), y consistió en una mezcla de 64% G, 20% pollinaza (PO), 15% RS y 1% sal común (S). Para estimar la DA de los nutrimentos, se dosificó Cr_2O_3 a través de la cánula ruminal durante los últimos 7 días de cada período experimental. A partir del día 9 de cada período se incubaron (0 a 72 h) muestras para digestibilidad *in situ* (DI), y el día 13 se infundió CoEDTA para calcular la cinética de líquidos en el rumen. Posteriormente, se colectaron (día 13 al día 15) muestras de líquido ruminal y heces. El último día de cada período experimental el contenido total del rumen de cada novillo se evacuó (0800 h) manualmente; separando la fracción líquida y sólida. Las medidas repetidas en el tiempo se analizaron como parcelas divididas. Se detectó una interacción ($P < 0.01$) para el CA entre el P y G, siendo mayor con el SR y MM (SR=28.2 y MM=26.6 l·d⁻¹). Con excepción de la PC, el proceso de

Este escrito sigue el estilo del J. Anim. Sci.

rolado incrementó ($P < 0.05$) la DA de la MO, MS y FDN. Comparado con el grano de sorgo, la DA fue mayor ($P < 0.05$) en todos los componentes estudiados con el grano de maíz. La DI de la MOPD fue superior ($P = 0.01$) en el grano de maíz (79.6% vs. 57.3%). El rolado aumentó la tasa de dilución (T_d , $MR = 7.76$, $SR = 8.84 \text{ \%} \cdot \text{h}^{-1}$), y la tasa de paso ($MR = 2.92$, $SR = 4.54 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$), sin alterar el contenido de líquidos y sólidos en el rumen. El pH ruminal se modificó (6.15 vs. 6.03; $P = 0.06$) al incluir el grano molido, sin embargo, la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el fluido ruminal, fue inferior (2.66 vs. 5.25 $\text{mg} \cdot \text{dl}^{-1}$) con el rolado. La concentración molar de AGV aumentó (39.0, 12.2 y 9.80 vs. 33.2 10.3 y 6.7 $\text{mM} \cdot \text{l}^{-1}$ para los ácidos acético (C2), propiónico (C3) y butírico (C4) respectivamente; $P < 0.01$). La metodología del Experimento 2 fue similar a la del experimento 1. La dieta consistió en maíz amarillo molido y quebrado en proporciones iguales, 15, 20, 25 y 30% de RS, PO (20%) y S (1%). El incremento de RS en la dieta no afectó ($P > 0.05$) el CA, pero disminuyó ($P > 0.05$) la DA de la dieta. La DI de la MOPD y de la FDAPD se comportaron en forma cuadrática ($P = 0.05$), aunque la FDNPD se incrementó en forma lineal. El incremento de forraje en las dietas aumentó ($P = 0.07$) la T_d y disminuyó ($P = 0.06$) el tiempo de recambio en forma lineal. El contenido de líquido en el rumen (15.7 y 15.1 l) y el líquido unido (5.4 y 5.8 l) fueron mayores con el nivel de 25 y 30% de RS en la ración. El nivel de forraje no afectó el pH, la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$, ni de AGV en el líquido ruminal. El % de C3 se incrementó linealmente ($P < 0.05$) con las horas postprandium. Se concluye que la DA de la dieta se mejora con MR, y el ambiente ruminal es similar en los animales que consumieron SR. El incremento de forraje en la ración aumenta la tasa de dilución y disminuye el tiempo de recambio.

DEDICATORIA

A Percy, porque nuestro amor es una estrella que cumple todos los deseos; a mis amorcitos Priscila y Anna Ivonne, que son los motivos para dar mi máximo esfuerzo. Y a otro amorcito que antes de nombrarle ya le queremos.

A mis más grandes amigos, mis padres:
Alejandro y Fidencia.

Por apoyarme a alzar la voz desde el primer día en que respiré el aire, dejandome ser yo mismo, y enseñarme que con constancia y sentido común se llega lejos sin andar mucho. Aunque no esperaba tantos tropiezos.

A mis hermanos: Ale, Ceci y David con todo mi amor fraterno.

A mis sobrinos:

A Jessie Karolina, con especial atención porque deseo que no me falle. También a Miguelito, Hernancito, Christian, Mauricio, Margarita, Pepe, Valeria, Lupita, Ceci y Jesús Alejandro.

A mis suegros:

Don Israel y doña Prisi, con todo el cariño, aprecio y respeto que les tengo.

A mis tíos, cuñados, y demás parientes cercanos y lejanos, que trato de vez en cuando, pero también siento sus afecto.

Aclaración:

Esta tesis no pretende ser un legado para futuras generaciones, ni un reto para alguien o un ejemplo a seguir.

Solo es un trabajo hecho con la mayor seriedad y esmero para obtener un grado académico y acercarme un poco al conocimiento de los animales que más han aportado al desarrollo del género humano: los rumiantes.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, por otorgarme la oportunidad y el apoyo económico para realizar los estudios de Maestría.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan de la UNAM por los cursos impartidos y el alojamiento durante mi estancia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por otorgarme la beca para los estudios de Maestría.

Al Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México, A. C. por su apoyo en animales, reactivos y equipo de laboratorio para la realización de esta tesis.

A la M. Sc. Irma Tejada Castañeda del CNID-Microbiología, por su apoyo para el análisis de AGV.

Al Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental de la U.A.Q. por su colaboración en el análisis de absorción atómica.

A los miembros del H. Jurado: M. Sc. Irma Tejada Castañeda, Dr. José Luis Romano Muñoz, Dr. Armando A. Shimada Miyasaka, Dr. Moisés Montaña Bermúdez y el Dr. Juan de Dios Garza Flores.

A todos los compañeros con los que conviví en la Unidad de Posgrado.

A las personas que me impartieron sus conocimientos.

A don Manuelito Barrón por su valiosa ayuda.

A Ricardo Basurto por su apoyo en algunos aspectos.

A Alejandra López por su colaboración en los análisis de proteínas y FDN.

Al personal que labora en el CENIFMA y en la Unidad de posgrado, por ser todos tan amigables.

En las últimas líneas de esta página quiero agradecer antes que todo su amistad, y luego sus afanes por que me supere, y su preocupación por que me organice para hacer primero lo que va primero. A usted, Dr. Juan de Dios, enhorabuena.

CONTENIDO

CONTENIDO	i
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE GRAFICAS.	vi

CAPITULO I

INTRODUCCION.	1
-----------------------	---

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA.	3
Composición de los granos.	3
Gelatinización del almidón	4
Hidrólisis ruminal del almidón	5
Efectos de los granos procesados	6
Absorción postruminal del almidón.	7
Utilización de azúcares.	9
Composición de la fibra.	11
Digestión ruminal de la fibra.	12
Interacciones microbianas.	14
Efectos de la adición de fibra a dietas altas en grano	15
Utilización del nitrógeno.	16
Modelos de cinética de digestión ruminal	21

CAPITULO III

HIPOTESIS Y OBJETIVO GENERAL.	26
---------------------------------------	----

CAPITULO IV

DIGESTION RUMINAL DE NOVILLOS BRAHMAN ALIMENTADOS CON MAIZ BLANCO O SORGO PROCESADOS, POLLINAZA Y RASTROJO DE SORGO.		27
Introducción		27
Objetivo		29
Material y métodos		29
- Ubicación.		29
- Animales y dietas.		29
- Digestibilidad aparente.		32
- Digestibilidad <i>in situ</i>		32
- Determinaciones en el líquido ruminal.		34
- Cinética de líquidos		34
- Evacuación ruminal		35
- Análisis estadístico		36
Resultados y discusión		38

CAPITULO V

DIGESTION RUMINAL EN NOVILLOS BRAHMAN ALIMENTADOS CON MAIZ AMARILLO, POLLINAZA Y NIVELES CRECIENTES DE RASTROJO DE SORGO		56
Introducción		56
Objetivo		57

Material y métodos 57
Resultados y discusión 59

CAPITULO VI

CONCLUSIONES. 78
IMPLICACIONES 79
REFERENCIAS 80
APENDICES 97

INDICE DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
4.1. Composición y análisis de las dietas (% base seca) (experimento 1)	31
4.2. Horario de actividades (experimento 1)	31
4.3. Consumo de alimento y agua de novillos (experimento 1)	39
4.4. Digestibilidad aparente de las dietas (experimento 1)	41
4.5. Digestibilidad <i>in situ</i> de la materia orgánica del maíz blanco o sorgo procesados	42
4.6. Cinética ruminal de líquidos estimada con Co-EDTA (experimento 1)	45
4.7. Contenido ruminal de novillos Brahman (experimento 1)	47
4.8. Nitrógeno amoniacal y fermentación ruminal (experimento 1)	49
4.9. Cambios postprandium en la composición porcentual de ácidos grasos volátiles (experimento 1)	55
5.1. Composición y análisis de las dietas (% base seca) (experimento 1)	58
5.2. Horario de actividades (experimento 2)	58
5.3. Consumo de alimento y agua en novillos Brahman (experimento 2)	60

5.4. Digestibilidad aparente de las dietas (experimento 2).	61
5.5. Digestibilidad <i>in situ</i> de la materia orgánica del rastrajo de sorgo.	64
5.6. Digestibilidad <i>in situ</i> de la fibra detergente neutro del rastrajo de sorgo	65
5.7. Digestibilidad <i>in situ</i> de la fibra detergente ácido del rastrajo de sorgo.	68
5.8. Digestibilidad <i>in situ</i> de la hemicelulosa del rastrajo de sorgo.	69
5.9. Cinética ruminal de líquidos estimada con Co-EDTA (experimento 2).	71
5.10. Contenido ruminal de novillos Brahman (experimento 2).	72
5.11. Nitrógeno amoniacal y fermentación ruminal (experimento 2).	73
5.12. Cambios postprandium en la composición de ácidos grasos volátiles (experimento 2)	77

INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA	PAGINA
4.1. Cambios en el $\text{NH}_3\text{-N}$ y pH ruminal (experimento 1).	51
5.1. Cambios en el $\text{NH}_3\text{-N}$ y pH ruminal (experimento 2).	74

CAPITULO I

INTRODUCCION

La eficiencia de utilización de granos tiene un gran impacto en la economía de la alimentación del ganado, ya que la mayoría de las dietas para bovinos de engorda contienen altos porcentajes de estos, por poseer mejor energía neta que los forrajes. Debido a que el almidón es el principal componente de los granos, las mejoras en la calidad nutritiva que se obtengan dependen del incremento de su conversión en producto animal. Esto se ha logrado mediante varias técnicas de procesado que modifican las características estructurales de los cereales (Theurer, 1986). Los granos procesados se hidratan rápidamente, aumentan la tasa de pulverización de las partículas, reducen el pH ruminal y la digestión de la fibra, debido a la disminución de la actividad y prevalencia de las especies microbianas celulolíticas. Cuando el almidón no es obstaculizado por barreras estructurales o el tamaño de partícula, la digestión es rápida (Owens y Goetsch, 1984).

Como consecuencia de la rápida degradación del almidón en el rumen, usualmente se rebasa la capacidad para mantener estable el pH, por lo que se requiere incluir cantidades limitadas de forraje en la dieta para moderar la fermentación ruminal. De esta forma, se logra una digestión óptima sin causar disturbios digestivos.

Con base en lo anterior, se realizaron dos experimentos simultáneamente. El primero, para determinar el efecto de la especie de grano y su procesamiento, en el ambiente ruminal de novillos Brahman alimentados con dietas basadas en pollinaza. En el segundo, se evaluó la inclusión de niveles crecientes de forraje. Esto con la finalidad de obtener información básica para mejorar dicha dieta y lograr mayor eficiencia en la producción de carne.

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

Composición química de los granos.

Rooney y Pflugfelder (1986) mencionan que los granos de cereales contienen tres componentes 1) la capa protectora o pericarpio, 2) el embrión, y 3) el endospermo, la capa externa de éste se llama endospermo córneo, está formado de una masa de gránulos de almidón embebidos en una matriz de proteína y otros carbohidratos, es resistente al agua y enzimas hidrolíticas que limitan severamente el acceso de las bacterias al gránulo de almidón y afectan su digestibilidad.

Los mismos autores señalan que al endospermo corneo lo cubre una capa albuminosa llamada aleurona, la cual contiene enzimas autolíticas, inhibidores de amilasas y proteasas, vitaminas hidrosolubles, minerales y cuerpos esféricos que contienen proteínas y lípidos.

En la parte interna y junto al embrión se encuentra el endospermo harinoso, que según Kotarski *et al.*, (1991) es más sensible a la hidrólisis enzimática.

Los gránulos de almidón están compuestos de dos polímeros, amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula lineal de 900-3000 residuos de D-glucosa unidos por enlaces alfa 1-4. La amilopectina es ramificada y está compuesta de D-glucosa unida por enlaces alfa 1-4 y en los

puntos de ramificación por enlaces alfa 1 6 (Rooney y Pflugfelder, 1986). Las proporciones de amilosa varían de 0 a 80% de acuerdo al genotipo de los granos, clasificados como cristalinos, opacos, harinosos y cerosos (Huntington, 1994). Las variedades cristalinas contienen altos porcentajes de cuerpos de almacén de proteína y matriz de proteína que rodea los gránulos de almidón. Las variedades cerosas tienen más distribuidos los cuerpos de almacén de proteína, menos endospermo córneo, y los gránulos de almidón son más accesibles al ataque de la amilasa (Kotarski et al., 1991).

Bajo el microscopio, los gránulos de almidón se observan como cristales organizados y áreas amorfas coloidales. La región cristalina o micelar está compuesta de amilopectina, es resistente a la entrada de agua y le da birrefringencia al grano. La región amorfa es rica en amilosa y menos densa que el área cristalina, el agua se mueve libremente a través de ella y es la región que ataca la amilasa (Manners, 1985).

Gelatinización del almidón.

Cuando el almidón se suspende en agua y se calienta gradualmente en el rango de 60 a 80 C, sufre un hinchamiento irreversible o gelatinización. En este proceso los gránulos pierden su cristalinidad (óptica y de rayos X), y se dilatan formando gránulos apelonados; esto incrementa la viscosidad y al enfriarse las dispersiones se fijan formando

un gel rígido (French, 1973). Este proceso en el sorgo mejora su eficiencia alimenticia, siempre que se realice con un adecuado control de calidad (Rooney, 1995).

Hidrólisis ruminal del almidón.

Las bacterias que fermentan el almidón incluyen *Streptococcus bovis*, *Bacteroides ruminicola*, *Bacteroides* spp., algunas cepas de *Fibrobacter* (*Bacteroides*) *succinogenes*, *Bifidobacterium pseudolongum*, *B. thermophilum* y *B. adolescentis*, *Borrelia* sp., *Butyrivibrio* sp., *Eubacterium ruminantium*, *Ruminobacter* (*Bacteroides*) *amylophilus*, *Ruminococcus bromii*, *Succinimonas amylolytica* y *Lactobacillus* sp. (Kotarski et al., 1991). Estas bacterias usualmente, forman microcolonias para protegerse de los fagos y crecen con un gránulo de almidón al centro. La velocidad de colonización microbiana depende de la composición y tamaño (área superficial) de las partículas (Owens y Goetsch, 1984). El ataque microbiano a los componentes de los granos de cereales comienza con la adhesión rápida a los tejidos internos de los sitios dañados de la cáscara y la matriz de proteína donde los gránulos de almidón están encerrados (Cheng et al., 1991). Cuando estas estructuras esencialmente protectoras son removidas, las bacterias producen diferentes y múltiples enzimas que atacan los gránulos de almidón, de las cuales solo se han identificado ocho (Kotarski et al., 1991).

Las enzimas amilolíticas actúan en la superficie del gránulo, quizá inicialmente en la fisura de alguna imperfección de la estructura, y después se difunde lateralmente formando "pozos" cónicos. Continuando su acción, la amilasa erosiona severamente los gránulos y eventualmente puede disolverlos completamente (French, 1973).

Efectos de los granos procesados.

El coeficiente de digestión del almidón del maíz entero es bajo y se reduce al adicionar forraje (Cole *et al.*, 1976a), pero este se mejora cuando el grano se ofrece molido (Waldo *et al.*, 1971). El efecto del procesado de los granos es significativo en los bovinos, esto no sucede en los ovinos porque mastican y muelen más finamente el alimento que consumen, y esta reducción en el tamaño de partícula compensa los efectos del procesado (Buchanan-Smith *et al.*, 1968). El aumento del área superficial de las partículas incrementa la tasa de digestión, pero la tasa de paso se reduce (Galyean *et al.*, 1979).

El efecto principal del procesamiento en los granos es un incremento en la disponibilidad de la energía (Owens y Secrist, 1994). El rolado del maíz o del sorgo aumenta la degradación ruminal del almidón fermentable y la tasa de paso (Owens *et al.*, 1986), esto cambia la digestión del almidón al intestino delgado de los bovinos (McCollough y Matsushima, 1973; Aguirre, 1979). Además, la solubilización

de la proteína durante el humedecimiento al vapor y la temperatura la expone 8% más al ataque bacteriano (Galyean et al., 1976). Merchen y Titgemeyer (1992) mencionan que la proteína del maíz escapa en 65% a la degradación ruminal y es una fuente relativamente buena de aminoácidos azufrados y pobre en lisina.

Las ganancias diarias de peso son mayores en bovinos alimentados con maíz molido, comparadas con las de animales que consumen sorgo molido. Aún cuando los consumos de maíz son menores, se requiere más alimento por unidad de peso ganado al ofrecer sorgo, esto evidencia su bajo valor de energía metabolizable (EM). Con el rolado húmedo, el consumo sigue siendo alto pero existe una mayor ganancia de peso debido a que la EM se incrementa notablemente (Owens y Secrist, 1994).

Absorción postruminal del almidón.

La digestión de la glucosa en el rumen, influencia: 1) la eficiencia de transformación de la energía del alimento en producto animal, 2) el sustrato usado por los rumiantes para formar glucosa, 3) la magnitud de fijación de nitrógeno no proteico (NNP) en proteína microbiana, y 4) la distribución de la energía en el producto del rumiante, como el contenido de grasa de la leche o bien en la canal (Waldo, 1973). Sin embargo, cuando se habla de la digestión postruminal existen serias contradicciones con respecto a la significancia que tiene el sitio de digestión del almidón.

debido a que no se ha definido si la capacidad enzimática del intestino delgado es ilimitada (Owens et al., 1986) o limitada (Orskov, 1986). El procesamiento de los granos mejora la digestibilidad *in vivo*, *in situ* e *in vitro* debido al incremento de la fermentación del almidón procesado, así como de la absorción en el intestino delgado, y al parecer, reduce la fermentación en el ciego e intestino grueso (Theurer, 1986).

Harmon (1992) demostró que los cambios en la energía de la dieta consumida alteran significativamente las cantidades de alfa-amilasa presente en el tejido pancreático. Por otra parte, Taniguchi et al. (1992) observaron la presencia de cantidades mayores de glucosa en la sangre portal de novillos como respuesta al incremento de suministro de proteína en el intestino delgado. Esta incertidumbre es debida a que no se ha definido claramente cual es el estímulo principal que regula la liberación y actividad de la alfa-amilasa pancreática (Theurer, 1992). Si el mecanismo es de control hormonal (Weekes, 1991) o de regulación de las enzimas pancreáticas (Kato et al., 1991; Croom Jr. et al., 1992). A pesar de esto, los resultados de las investigaciones disponibles muestran que la secreción pancreática de amilasa puede ser manipulada nutricionalmente (Harmon, 1993).

Utilización de azúcares

La ruta Embden-Meyerhof es la principal vía de utilización de las hexosas en los microbios ruminales. Este proceso utiliza dos enlaces de alta energía ($\cdot P$) para convertir hexosas a triosas fosfato y se forman cuatro ATP durante la conversión de las triosas-P en la conversión de piruvato y $NADH_2$. Los productos netos de esta reacción son dos $\cdot P$, dos piruvatos y dos $NADH_2$. En las pentosas, se han sugerido dos rutas de utilización; la más predominante, está relacionada a la conversión de tres pentosas-P a dos hexosas-P y una triosa-P por la vía de las reacciones de transcetolasa y transaldolasa, las hexosa-P y triosa-P que se forman son convertidas en dicha vía. La producción neta de $\cdot P$ resultante de la fermentación de una pentosa por esta ruta debe ser 1.67 moles de $\cdot P$ /mol de pentosa. La otra ruta, más limitada, está relacionada con la formación de una ceto-pentosa-P. La producción de $\cdot P$ /mol de pentosa fermentada en esta ruta es de 2.0 (Akin, 1984).

Se han observado dos mecanismos de conversión de piruvato en acetato, el sistema piruvato-formato liasa que produce formato y acetyl-CoA como productos intermediarios. Y $CO_2 + H_2$ como productos finales de la conversión de formato. El segundo sistema enzimático, observado en *Clostridia*, *M. elsdenii* y *Veillonella alcalesens*, es la piruvato-ferredoxina oxido-reductasa que convierte piruvato en ferredoxina reducida, $CO_2 + Acetyl-CoA$ que es convertida a acetato más ATP ($\cdot P$) por fosfo-transcetolasa y acetocinasa.

La producción de $\cdot P$ a partir de la conversión del piruvato en acetato es de un ATP/mol (Baldwin y Alison, 1983).

La ruta más común y prominente de la conversión de piruvato a propionato es la del ácido dicarboxílico. Tres enzimas alternas pueden catalizar la carboxilación del piruvato: Fosfoenolpiruvato (PEP) carboxicinas, que convierte PEP más ADP o GDP más CO_2 en oxalacetato (OAA) + ATP o GTP; piruvato carboxilasa, la cual convierte piruvato más CO_2 más ATP en OAA más ADP; y metilmalonil-CoA carboxiltransferasa, una biotina que contiene enzimas que transfieren una unidad " C_1 " de metilmalonil-CoA en piruvato durante la conversión de succinato a propionato. El primero y tercer mecanismos son los predilectos porque se acoplan a la carboxilación sin costo neto de $\cdot P$ para la célula, mientras la reacción de la piruvato carboxilasa utiliza un $\cdot P$ /mol. Durante la fermentación de la celulosa, se observa muy poco reciclaje de carbonos por la vía de la carboxiltransferasa (Wallnofer et al., 1966).

Las bacterias metanogénicas tienen un papel importante en el metabolismo de la energía, la termodinámica de la reducción de CO_2 por hidrógeno es altamente favorable ($\Delta G_0' = -32.4$ kcal/reacción) para la formación de ATP, y el crecimiento de los metanógenos en estos sustratos generan además ATP (Bryan, 1979).

No existe utilización neta de glucosa en el hígado de los rumiantes para ser empleada por los tejidos, ya que sintetizan glucosa a partir de propionato y de los

aminoácidos, por lo que la gluconeogénesis es la vía dominante para el metabolismo de la glucosa (Preston y Leng, 1989). La glucosa que llega al músculo es transformada y liberada en forma de lactato y conservada en forma eficaz. De lo anterior se deduce otra limitación para que los rumiantes utilicen la glucosa, sin embargo, Janes et al. (1985a) alimentando borregos con dietas altas en maíz, observaron que una gran cantidad del almidón fue digerida y absorbida como glucosa en el intestino delgado, con gluconeogénesis baja. La utilización de la glucosa no fue afectada por la insulina cuando los borregos consumieron maíz o forraje (Janes et al., 1985b).

El acetato producido en el rumen es absorbido por el epitelio y transportado por vía portal hacia el hígado; un 80% del acetato que llega al hígado escapa hacia la circulación general, en donde es la principal fuente de energía para el músculo relajado y precursor de la síntesis de ácidos grasos en el tejido adiposo (Rook y Thomas, 1989).

Composición de la fibra

Las plantas forrajeras están cubiertas por una cutícula cerosa delgada, que contiene una capa resistente de poliéster llamada cutina, la cual forma el componente estructural de la cutícula (Kolattukudy, 1980). En algunos forrajes la cutícula contiene de 18 a 24% de sílice, que da rigidez a la capa externa (McAllister et al., 1994) y presenta una fuerte barrera a la invasión de los

microorganismos del rumen (Monson et al., 1972; Akin, 1989); con excepción de algunos hongos ruminales que pueden penetrarla (Ho et al., 1988). Inmediatamente debajo de la cutícula, se encuentran las células de la planta, compuestas principalmente de una pared celular, formada de celulosa y hemicelulosa, con pequeñas porciones de lignina (Van Soest, 1982). La celulosa está compuesta de residuos de glucosa unidos por enlaces beta 1-4 que forman cadenas de 14,000 residuos de largo (McNeil et al., 1984) observándose por rayos X que forma un tejido cristalino y otro amorfo. La fracción de hemicelulosa está compuesta principalmente por xilanos unidos por residuos de xilosa con uniones beta 1-4 (Van Soest, 1982).

La asociación de las fibrillas de celulosa y hemicelulosa en la pared celular de las plantas es desconocida, no obstante se sugiere que la hemicelulosa se ensambla helicoidalmente y se entrelaza con la celulosa, haciéndola insoluble. Dentro de esta estructura es probable que la celulosa y hemicelulosa estén enrolladas, y que los compuestos aromáticos y lignina causen más complejidad en el arreglo de los polímeros (Neville, 1988).

Digestión ruminal de la fibra.

Cuando un animal consume un alimento, el rumen contiene especies microbianas adaptadas a adherirse a sus componentes específicos. Estos microorganismos, logran una rápida y extensa digestión a través de una serie compleja de enzimas

microbianas que actúan en un orden secuenciado (Kudo et al., 1987). Por ello es necesario el desarrollo de un complejo de asociaciones microbianas celulolíticas y hongos ecológicamente estables que se adhieran estratégicamente a la superficie de los vegetales (McAllister et al., 1990).

Los hongos de los géneros *Neomicallimastix*, *Piromonas* y *Shaeromonas*, producen zoosporas que son atraídas a las partículas lignocelulósicas por quimioestasis, penetrando a través de los estomas y las rupturas provocadas por la trituración mecánica del forraje. Estos organismos germinan y producen rizoides que penetran los tejidos por acción mecánica y enzimática; una vez establecidos en el forraje secretan gran cantidad de polisacaridasas (endo-beta 1-4 glucanasa, exoglucanasa, xilanasa, celodextrinasa) y glucosidasas (beta-glucosidasa, beta-fructuosidasa, beta-xilosidasa, beta-L arabinofuranosidasa) extracelulares, dejando los carbohidratos fermentables de las plantas disponibles para las bacterias (Fonty y Joblin, 1991).

Las bacterias de los géneros *Bacteroides* y *Ruminococcus* se adhieren a las partículas mediante enzimas extracelulares específicas protegidas por un polisacárido extracelular llamado glicocalix (Sequeira y Sequeira, 1993). Estas bacterias se introducen a las partículas de forraje para digerirlas de adentro hacia afuera, como una medida de adaptación hacia los predadores, lo cual permite la formación de asociaciones que digieren efectivamente el sustrato (Cheng et al., 1991). De acuerdo a la predominancia

de las bacterias adheridas, éstas han sido clasificadas como: 1) cocos encapsulados (*Ruminococcus*) y 2) formas irregulares caracterizada por *B. succinogenes*. Otra forma que utilizan los microorganismos para digerir los tejidos menos rígidos del forraje como floema y mesófilo, es por la acción de celulasas libres de la pared celular de *R. flavefaciens*, que permanece cerca de la zona degradada. Esto sugiere que el mecanismo de degradación varía con el tipo de fibra (Akin, 1984).

Con excepción de los *Holotricos*, *Dasytricha ruminantium* y los *Entodíneos*, todos los géneros de protozoarios producen enzimas activas para digerir los polisacáridos de las plantas (Williams y Coleman, 1985), en particular la digestión de la lignocelulosa es mejor cuando se suplementa con almidón (Coleman, 1985).

Interacciones microbianas.

Cuando las dietas contienen entre 30 y 50% de almidón, la población de protozoarios es grande y se reduce el número de bacterias celulolíticas por la predación y competencia nutricional. Se sugiere que la tasa de predación de bacterias por los protozoarios es tan alta como la tasa de paso del líquido ruminal (Coleman y Sandford, 1979), lo que reduce la eficiencia de síntesis de proteína microbiana; aunque las bacterias que permanecen en el rumen tienen alta eficiencia de crecimiento (Kurihara et al., 1978).

Sin embargo, Kotarski et al. (1991) mencionan que el pH ruminal durante todo o parte del ciclo de alimentación diaria, limita el crecimiento de las poblaciones de protozoarios porque no sobreviven a pH por debajo de 6. Estos cambios también afectan a los hongos, por lo que con dietas altas en grano y con forrajes tiernos su presencia es nula debido a la rápida tasa de paso de líquidos (Fonty y Joblin, 1991). En presencia de bacterias metanogénicas los hongos aceleran la degradación de la celulosa, por su alta producción de hidrógeno, el metabolismo es cambiado hacia una mayor producción de acetato a expensas de la producción de compuestos más reducidos (Akin y Borneman, 1990).

Efectos de la adición de fibra a dietas altas en grano

La adición de forraje a la dieta incrementa el consumo de alimento, esta respuesta depende del tipo de grano (Stock et al., 1990). Cuando se incluyen fuentes de grano rápidamente digestibles, el forraje estimula la salivación durante la comida o a través de la rumia, ayudando a reducir enfermedades asociadas con el metabolismo ruminal, debido a la reducción de la acidez (Owens et al., 1986).

La adición de forraje también puede aumentar la tasa de paso de líquidos y partículas (Owens y Goetsch, 1984), por lo tanto, un aumento en la tasa de paso ruminal puede cambiar el sitio de digestión del almidón al intestino delgado (Kreikemeier et al., 1990). En contraste, la adición de forraje a una dieta con granos de baja digestibilidad

tales como sorgo o maiz rolado en seco es detrimental (Stock et al., 1990).

Con relación a la proteína, Cole et al. (1976a) observaron que existe un reciclaje más extenso del nitrógeno (N) cuando se incluye 21% de forraje en raciones basadas en maiz amarillo entero. Casi el 100% del N consumido pasó al abomaso. Y la síntesis de proteína microbiana por 100 g de MS fermentada en el rumen se incrementó con el nivel de forraje. La proteína microbiana y la proteína de sobrepaso representaron cada una el 50%, aumentando así la digestibilidad total del N. Estos efectos también se observaron cuando se ofreció el grano rolado (Cole et al., 1976b).

Utilización del nitrógeno.

Las proteínas que llegan al rumen son atacadas en diferente grado por los microbios, dependiendo de su cantidad, estructura y solubilidad y esto está relacionado con su composición de aminoácidos (Romagnolo et al., 1994).

Yokoyama y Johnson (1988) indican que las bacterias proteolíticas *Bacteroides amylophilus*, *B. ruminicola*, algunas cepas de *Butyrivibrio fibrisolvens* y *Streptococcus bovis* tienen una proteinasa unida a tripsina asociada a la pared celular. La actividad proteolítica en el rumen no está confinada únicamente a las bacterias y es una propiedad variable de muchos microbios que pueden estar activos en la degradación de otros constituyentes, principalmente

carbohidratos; además, las bacterias proteolíticas predominantes difieren dependiendo de la dieta (Broderick et al., 1991).

La proteólisis da como resultado la producción de oligopéptidos, éstos a su vez sufren degradación a pequeños péptidos y aminoácidos. Una comparación de péptidos y aminoácidos muestra que los péptidos se incorporaron con más eficiencia a la proteína bacteriana, mientras que una mayor proporción de aminoácidos fueron fermentados a ácidos grasos volátiles (AGV) (Cotta y Russell, 1982; Argyle y Baldwin, 1989). Los aminoácidos libres como tales no pueden ser incorporados a la proteína microbiana, ya que sufren una rápida desaminación haciendo disponible el amonio a las bacterias para su crecimiento. La desaminación y degradación de aminoácidos específicos son especialmente relevantes para el crecimiento de las bacterias; la más importante de estas conversiones es la de leucina, isoleucina y valina en isovalerato, 2-metilbutirato, e isobutirato, respectivamente. Estos ácidos grasos de cadena ramificada son requeridos o estimulan altamente el crecimiento de algunas bacterias ruminales, especialmente las especies fibrinolíticas (Bryant y Robinson, 1963).

La principal fuente de N para la síntesis microbiana es el amoníaco, aunque se han sugerido dos rutas de utilización que son: la glutamato deshidrogenasa y el sistema de las enzimas glutamina sintetasa y glutamato sintetasa, que operan influenciadas por su concentración. Aún no se conoce

si el amoníaco atraviesa la membrana celular por transporte activo o pasivo (Mackie y White, 1990). La síntesis de metionina y cistina en el rumen requiere de azufre y su consumo puede limitar la síntesis de proteína cuando se utilizan grandes cantidades de NNP (Buttery, 1977). Los procesos de síntesis microbiana son más complejos de lo que parecen, por lo que deben ser estudiados desde un punto de vista bioquímico (Czerkawski, 1986).

La proteólisis durante la fermentación ruminal puede beneficiar al animal huésped si la proteína microbiana sintetizada y sus productos son de más valor biológico que el valor de la proteína del alimento; sin embargo, no es ventajoso cuando la proteína es de alta calidad (Tamminga, 1979).

La cantidad de amoníaco que puede ser utilizado por las bacterias depende de la cantidad de alimento fermentable consumido. Los alimentos con gran cantidad de nutrientes digestibles totales (TND) son más fermentables que los que tienen bajo TND, por lo tanto, alimentos con un 75% de TND permiten la utilización de más amoníaco. Así también, cuando el contenido de proteína cruda aumenta por encima del 13%, se incrementa el amoníaco en un excedente de $5 \text{ mg} \cdot \text{dl}^{-1}$ de líquido ruminal, en este nivel las bacterias son incapaces de utilizarlo, por lo que existe un exceso del mismo; ocurriendo esto más rápido con raciones bajas en energía que en las altas en energía (Satter y Roffler, 1977).

El uso efectivo de fuentes de proteína con un perfil de aminoácidos, que complementen los aminoácidos que aportan las dietas de los rumiantes, para ofrecer la cantidad y el perfil de aminoácidos requeridos, depende de seguir satisfactoriamente los siguientes criterios: 1) La síntesis de proteína microbiana debe mantenerse con la inclusión de urea o adicionar una fuente de proteína que se degrade en el rumen para proveer $\text{NH}_3\text{-N}$ y otros productos de la digestión de la proteína a la población ruminal, y 2) la proteína complementaria debe ser resistente a la degradación y disponible en el intestino delgado (Merchen y Titgemeyer, 1992.)

Si siguiendo este razonamiento, se han evaluado dietas con granos y pollinaza. Entre las ventajas de la utilización de la pollinaza se encuentran ganancias de peso por arriba del kilogramo diario cuando se incluye entre el 12 y 25%, de la ración total (Noland *et al.*, 1955; Fontenot *et al.*, 1966; El-Sabban *et al.*, 1970; Smith y Wheeler, 1979). Cuando se incluye en niveles mayores a los indicados anteriormente, se ha observado una disminución de 5% en la tasa de ganancia diaria y un incremento del 10% en la conversión alimenticia, esto refleja el bajo valor energético de la pollinaza (Fontenot *et al.*, 1971).

Smith *et al.* (1993) mencionan que con el 20% de pollinaza en la dieta se cubren las necesidades de todos los minerales en bovinos de carne. Además, es una fuente de fósforo y magnesio altamente disponible para los rumiantes

(Cooke y Fontenot, 1990) y la relación calcio a fósforo es de 1:1 (Gerken, 1990). Aunque para ovinos el nivel de Cu es muy elevado (172 ppm) y potencialmente tóxico (Moguel et al., 1995).

Como consecuencia de la suplementación con gallinaza como fuente de N en dietas de miel final/urea, se sugiere que existen compuestos que estimulan ciertos grupos de microorganismos en el rumen (Preston y Leng, 1989).

A pesar de la ventajas que ofrece la pollinaza como alimento para rumiantes, existen algunas limitaciones nutricionales y de salud pública que se deben considerar para su uso. Fontenot et al. (1983) determinó que la pollinaza tiene un alto contenido de cenizas, y antes Keys y Smith (1981) observaron que estos contenidos altos reducen la cantidad de materia orgánica fermentable en el rumen y por lo tanto su digestión.

El contenido de proteína de la pollinaza varía de 25 a 31% debido a las diferentes proporciones de la cama y al material utilizado para ello, y de acuerdo al manejo y al tiempo de almacenamiento este se reduce significativamente (Bhattacharya y Taylor, 1975). Entre otros factores que influyen están: 1) la composición y naturaleza física de la dieta de los pollos, 2) el nivel de alimentación y 3) la edad de los mismos (Pearce, 1979).

De 43 elementos analizados en el hígado de los bovinos alimentados con pollinaza, los niveles de cobre (593 ppm) y arsénico (75.9 ppm) fueron altos, pero no en la cantidad

suficiente para causar problemas en la salud humana. Además no se observaron diferencias en la calidad de la canal y características organolépticas de la carne (Westing et al., 1985). También, se encontraron solo pequeñas cantidades de residuos de otras drogas en el hígado de bovinos alimentados con pollinaza (Webb y Fontenot, 1975).

Por otra parte, se ha reconocido en las excretas de aves el problema potencial de parásitos y enfermedades debido a las bacterias patógenas como Arizona spp. Salmonella pullorum, S. typhimurium y Escherichia coli (Fontenot y Webb, 1975). Estas bacterias solo pueden ser completamente eliminadas a 150 C durante tres horas (Fontenot et al., 1971), pero con esto existe una gran pérdida de N en la pollinaza (Harmon et al., 1974; Caswell et al., 1975), y con el empastillado la utilización del NNP se mejora (Flores et al., 1995). Otra opción menos costosa es el ensilaje, es decir, reducir el pH a 4 o 4.5 para destruir Salmonella (Fontenot et al., 1975; Fontenot, 1991), sin reducir el contenido de nutrimentos (Ramírez y Rodríguez, 1988).

Modelos de cinética de digestión ruminal.

El parámetro de la tasa de degradación estima la degradación potencial de un alimento en el rumen y cuando se combina con su tasa de pasaje, es posible calcular la degradabilidad efectiva (Huntington y Givens, 1995), así como la extensión de la digestión (Owens y Goetsch, 1984), y

utilizando modelos dinámicos de digestión es posible predecir el consumo (Mertens, 1987). También se requiere para expresar la composición proteínica de los ingredientes en términos de proteína metabolizable (NRC, 1985; AFRC, 1992). Con los parámetros de tasas de degradación se podrían seleccionar ingredientes para elaborar dietas compatibles para maximizar la síntesis de proteína microbiana en el ecosistema ruminal (Sinclair et al., 1993).

Huntington y Givens (1995) mencionan que la técnica *in situ* fue descrita desde 1938. Sin embargo, existe considerable variación en la aplicación del procedimiento y sugieren que la técnica puede ser mejorada con respecto a la preparación de la muestra antes de la incubación dentro del rumen, y en su procesamiento posterior. Estos autores proponen estandarizar el tamaño del poro, la movilidad de la bolsa con respecto al tamaño del cordel, la relación superficie de la bolsa:peso de la muestra, la secuencia con que se incuban las muestras, la relación tamaño de partícula:tamaño del poro y la necesidad de muestras estándares que sirvan de comparación.

Owens (1987) menciona que es sorprendente cómo puede estimarse el escape ruminal de los alimentos con el procedimiento *in situ*, ya que al parecer nada es totalmente satisfactorio, por las pérdidas de partículas pequeñas y compuestos solubles de la bolsa, la entrada de microbios, la presencia de múltiples fases y una fracción indigestible, además la cinética no es completamente de primer orden. Por

otra parte, el tiempo lag, representa el tiempo que transcurre antes que se inicie la degradación de la fibra por acción enzimática de los microorganismos ruminales. Durante este tiempo, la fibra se hidrata, sufre alteraciones físicas y químicas y las bacterias ruminales se adhieren a ella (Akin y Burdick, 1981; Mértens y Ely, 1982). Este parámetro no representa adecuadamente dicho fenómeno.

Para elaborar los modelos de degradación ruminal, se ha considerado que los procesos de digestión y pasaje de los componentes de la dieta, ocurren al mismo tiempo que la reducción física de su tamaño. La mayoría de las veces la solución matemática de estos modelos es compleja, así como la comprensión de los criterios utilizados para definir las fracciones a considerar y su papel dentro del rumen.

El enfoque matemático utilizado ha sido el uso de modelos semilogarítmicos, donde la variable dependiente es el logaritmo natural del porcentaje de material remanente en cada tiempo de incubación, y la independiente es el tiempo transcurrido al detener el proceso de fermentación. Smith et al. (1971) sugieren que esta relación es lineal cuando el residuo no degradado se expresa en términos relativos, con respecto a la porción del alimento que es potencialmente degradable. En 1972, Waldo et al. propusieron que la digestión de la fracción de celulosa potencialmente degradable sigue un modelo de cinética de primer orden, el cual queda definido por un solo parámetro denominado tasa fraccional de digestión. El mismo concepto fue utilizado por

Cross et al. (1974) para definir la tasa de degradación de los constituyentes de la pared celular, y por Broderick (1978) para el caso de la proteína cruda.

Mertens y Loften (1980), utilizando un procedimiento no lineal de regresión, incorporaron a este modelo el tiempo lag. Aunque a esto se le ha dado una interpretación biológica, al parecer este proceso es más complicado; ya que existe un complejo de enzimas específicas en la pared celular de las bacterias celulolíticas que determinan su adherencia y colonización al sustrato para penetrar las paredes celulares, así como la acción de hongos que determinan el tiempo de inicio de la digestión (Kudo et al., 1987). En el mismo modelo, Mertens y Ely (1982) incluyeron dos componentes de tasas de degradación; k_1 que corresponde a la fracción degradada rápidamente y k_2 a la degradada lentamente.

Nocek y English (1985) suponen que existe una fracción soluble con diferente potencial de digestión y compararon el modelo de cinética de primer orden con el propuesto por ellos. En este modelo se modificaron el segundo factor del modelo propuesto por Mertens y Loften (1980) para reducir la suma de cuadrados residuales en el modelo de regresión. Ellos proponen evaluar la fracción soluble y la no degradable antes de aplicar algún modelo; en caso que exista solo una tasa de digestión se pueden utilizar las transformaciones logarítmicas, la regresión de cuadrados

mínimos o el procedimiento de regresión no-lineal de SAS (1988).

De manera paralela se propuso otro modelo (Meheretz y Orskov, 1977; Orskov y McDonald, 1979; Orskov et al. 1980 y McDonald, 1981) que ha sido utilizado con bastante frecuencia en ingredientes proteicos. Este modelo describe la relación curvilínea de la reducción del residuo con el tiempo; siendo ésta la principal diferencia con los modelos anteriores, ya que con aquellos se hacen los cálculos con base en el residuo que permanece en la bolsa. Debido a que éste modelo tiene poca aplicación con materiales fibrosos, Orskov y Ryle (1990) propusieron una ecuación para calcular el tiempo lag, con el que se utiliza un factor para estimar el consumo de materia seca. En 1988, Dhanoa incluyó el tiempo lag a este modelo, y posteriormente observó que la tasa fraccional de degradación varía con el tiempo de incubación, por lo que propuso un nuevo modelo (Dhanoa et al., 1995).

Los modelos que requieren programas iterativos con el uso de procedimientos de regresión no-lineal por cuadrados mínimos (SAS, 1988), necesitan de valores iniciales que definen los parámetros de la tasa de degradación, que pueden ser obtenidos mediante la solución de la ecuación. En general su efectividad depende de la cercanía al valor real de los estimados. Además, cada archivo de datos se debe tratar de manera independiente, lo cual hace complicado el análisis (Colucci, 1984).

CAPITULO III

HIPOTESIS

1. La tasa de digestión de la materia orgánica de los granos se mejora al incluirlos rolados en la ración.
2. La mayor digestión de los granos rolados maximiza la utilización del NNP de la pollinaza.
3. El incremento del nivel de rastrojo de sorgo en dietas con pollinaza y maiz amarillo mejora la capacidad amortiguadora del rumen y cambia el patrón de fermentación.
4. Cuando se ofrecen los granos procesados y se incrementa el nivel de forraje en la dieta de rumiantes, se afectan el consumo de agua, el contenido ruminal, el patrón de fermentación así como la digestión aparente e *in situ* de la materia orgánica de los granos y la fibra de la dieta.

OBJETIVO GENERAL

Determinar los efectos de la especie de grano (maíz blanco y sorgo), su proceso (rolado y molido) y el nivel de inclusión de forraje, en la digestibilidad de los nutrientes, el volumen y la cinética ruminal, el pH, la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ y de AGV en el líquido ruminal de novillos alimentados con pollinaza.

CAPITULO IV
DIGESTION RUMINAL DE NOVILLOS BRAHMAN ALIMENTADOS CON
MAIZ BLANCO O SORGO PROCESADOS, POLLINAZA Y RASTROJO
DE SORGO

Maldonado M. J. J. y Garza, J. D.

INTRODUCCION

Las ventajas de incluir pollinaza como ingrediente en la dieta de bovinos de engorda, se han evidenciado en algunas pruebas de comportamiento (Huitrón y Zorrilla, 1980; Magaña y Rodríguez, 1986, 1988, 1991). No obstante esto, y debido al alto contenido de nitrógeno no proteico de la pollinaza, la eficiencia con que ésta se utiliza por parte del animal, depende del nivel energético de la ración. Al incluir maíz amarillo en la dieta de toretes en finalización alimentados con pollinaza, Cuarón *et al.*, 1978; y Basurto y Garza, 1993 reportan ganancias de peso aceptables. Sin embargo, debido al alto precio de este grano, es necesario utilizar fuentes energéticas alternativas que sean más baratas. El grano de sorgo molido, la melaza y el sebo animal, pueden suplir la energía del maíz cuando se emplea pollinaza en animales de engorda. Rivera y Garza (1995) reportan ganancias diarias de peso de 1.5 kg, y rendimientos en canal de 59% en toretes Brahman alimentados con grano de sorgo molido y pollinaza como ingredientes principales en la dieta.

Es necesario evaluar otros granos como el maiz blanco, debido a que son disponibles y en ocasiones resultan ser más baratos que el maiz amarillo, aún cuando la digestibilidad de los principales componentes químicos, como el almidón y la proteína son bajos.

Este tipo de maiz puede ser mejorado con el proceso de rolado, ya que el almidón se hace más disponible a la digestión bacteriana, aumentando la materia orgánica fermentable en el rumen, y permitiendo mejorar la utilización del nitrógeno no proteico proveniente de la pollinaza.

OBJETIVO

Determinar los efectos de la especie de grano (maíz blanco y sorgo) y su proceso (rolado y molido) en la digestibilidad de los nutrimentos, la cinética ruminal, el pH, la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ y de AGV en el líquido ruminal.

MATERIAL Y METODOS

Ubicación

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, del INIFAP-SAGAR, localizado en el Municipio de Colón, estado de Querétaro, a 1990 msnm, con clima BS1K'(w) semiseco templado, con lluvias en verano y precipitación pluvial anual de 460 a 630 mm y temperatura media anual de 15 C (Soria et al., 1970).

Animales y dietas

Cuatro novillos Brahman con un peso inicial de 258 kg se alojaron en corrales individuales con comederos tipo canoa, bebederos de lámina, piso de tierra y sin techo para sombra. Todos los animales fueron manejados diariamente durante dos meses para amansarlos y posteriormente prepararlos quirúrgicamente (Garza, 1990a) con cánulas ruminales permanentes de 10 cm de diámetro interno (Bar Diamond, Inc.). Inmediatamente después de la cirugía los animales tuvieron un período post-operatorio de 30 días.

Previo al experimento, los animales fueron desparasitados con levamisol, vitaminados con vitamina A=2,500,000 UI, D=350,000 UI y E=250 UI y vacunados vía intramuscular con una bacterina triple (Pasteurella multocida tipos A y D, Pasteurella haemolytica, Clostridium chauvoei y Clostridium septicum).

El alimento se ofreció una vez al día (0800) al 2.7 % del peso vivo del animal en base seca. Para ajustar la cantidad ofrecida de alimento, se pesaron los animales (0730) sin previo ayuno de agua o alimento los días 1, 7, 8 y 16 de cada período experimental. La composición de los ingredientes de las dietas experimentales se muestran en el Cuadro 4.1, la composición química fue similar entre las raciones.

El agua se ofreció a libre acceso calculando el consumo mediante la suma de la cantidad ofrecida $\cdot d^{-1}$ a partir del día 9 y restando los rechazos el día 16.

El experimento se condujo como un Cuadro Latino 4 x 4., siendo los tratamientos: 1) maíz rolado, 2) sorgo rolado, 3) maíz molido y 4) sorgo molido.

Cada período experimental tuvo una duración de 16 días. Los primeros 8 días sirvieron como adaptación a las dietas y en los últimos 8 días se colectaron las muestras de acuerdo al programa y horario de actividades que se muestra en el Cuadro 4.2 y el apéndice 1 (A1).

Cuadro 4.1. Composición y análisis de las dietas
(% base seca) (experimento 1)

Variable	Proceso			
	Rolado		Molido	
Maíz blanco	64.00	-----	-----	-----
Maíz blanco	-----	-----	64.00	-----
Sorgo	-----	64.00	-----	-----
Sorgo	-----	-----	-----	64.00
Pollinaza	20.00	20.00	20.00	20.00
Rastrojo de sorgo	15.00	15.00	15.00	15.00
Sal común	1.00	1.00	1.00	1.00
Análisis:				
Materia orgánica	93.85	93.31	92.61	91.24
Cenizas	6.14	6.69	7.39	8.75
Proteína	12.67	12.17	12.32	12.88
Fibra detergente neutro	50.37	46.77	42.00	44.35
Fibra detergente ácido	13.00	17.08	13.94	13.81
Hemicelulosa	37.37	29.69	28.06	30.54
Celulosa	9.68	10.25	9.70	10.09
Lignina	4.62	5.87	3.94	4.83

Cuadro 4.2. Horario de actividades (experimento 1).

día	hora						
	0800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
9	h, c,				c		i
10	c				c		i
11	c				c		i
12	c, i	i	i	i	c, i	i	i
13	c, h			h	c		h
14	c ₀ , c, h, r	r	r	h, r	c, r	r	h, r
15	c, h, r			h, r	c		h, r
16	v	a					

Nota: h= muestra de heces, c= dosis de Cr₂O₃, i= introducción de bolsas para digestibilidad in situ, c₀= dosis de Co-EDTA, r= muestra de líquido ruminal v= vaciado ruminal, a= consumo de agua

Digestibilidad aparente

Para estimar la digestibilidad aparente de los nutrimentos, se dosificó óxido de cromo (Cr_2O_3) ($6 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$) en el rumen, del día 9 al 15 como indicador externo, administrándolo dos veces al día (0800 y 1600) en paquetes de papel con tres gramos cada uno. Antes de la primera dosis del indicador, se colectaron muestras de heces por vía rectal (blanco), para ajustar la curva estándar de óxido de cromo al momento de su análisis. Del día 13 al 15, se colectaron tres muestras diarias de heces (0800, 1400 y 2000) secándolas en el horno de aire forzado a 55 C durante 72 h. Todas las muestras, de alimento y heces, se molieron en un molino Willey con criba de 2 mm. Antes de analizarlas se hicieron muestras compuestas, para determinar materia seca (MS), materia orgánica, nitrógeno total (Tejada, 1992), fracciones de fibra (Goering y Van Soest, 1985) y óxido de cromo en heces (Fenton y Fenton, 1979) en un espectrofotómetro a 400 nm de longitud de onda (GBC UV/VIS 920). La digestibilidad aparente se calculó con la fórmula que propone Merchen (1988).

Digestibilidad in-situ

Siguiendo la metodología de Orskov et al. (1980), y de acuerdo con el tratamiento, a partir de las 2000 h del día nueve, se introdujeron por duplicado muestras de $10 \pm 0.01 \text{ g}$ del grano molido (criba de 2 mm) en el saco ventral del rumen para su incubación, y posteriormente en cada tiempo de

incubación (72, 48, 24, 12, 8, 6, 4, 2 y 0 h) retirando todas el día 12 a las 2000 h.

Las bolsas de nylon que contenían las muestras fueron de 7x15 cm, con 1600 poros por cm² se ataron con un cordel de nylon a un contrapeso (120 g), para que permanecieran en el saco ventral del rumen de cada uno los cuatro novillos.

Antes de combinar las muestras residuales de cada réplica en cada animal, al final de cada tiempo de incubación, se manejó por duplicado la desaparición de la MS. La tasa de degradación de la materia orgánica, se calculó utilizando el método de cinética de primer orden propuesto por Smith et al. (1971) que representa la regresión del logaritmo natural del residuo potencialmente digestible al final de cada tiempo de fermentación, multiplicando el coeficiente de regresión por 2.303 * 100.

Para estimar el tiempo lag se utilizó la ecuación propuesta por Mertens y Loften (1980):

$$L = (\ln D_0 - \ln D^*) / \cdot k$$

donde:

- L = tiempo lag
- D₀ = fracción digestible, g
- D* = intercepto de la regresión
- k = coeficiente de la regresión

Las formulas para los cálculos de la fracción digestible se muestran en el apéndice 2 (A2).

Determinaciones en el líquido ruminal

Para determinar pH, $\text{NH}_3\text{-N}$ y AGV se colectaron 500 ml de contenido ruminal del saco ventral del rumen a las 0800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 y 2000 h del día 14 de cada periodo experimental, y se filtraron 200 ml a través de 8 capas de gasa. Inmediatamente después se determinó el pH con un potenciómetro (Conductronic PH20, Puebla, Méx.) y se congeló a -15 C . Al final del experimento las muestras se descongelaron y se centrifugaron por duplicado (5 ml a 700 G durante 30 min); en el sobrenadante se determinó el N-NH_3 por el método de fenol-hipoclorito (Broderick y Kang, 1980). Las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 630 nm (GVC UV/VIS 920). Para la determinación de AGV en el líquido ruminal se utilizaron 5 ml adicionados con 1 ml de ácido metafosfórico al 25% y se centrifugó a 5,000 G durante 30 min. Posteriormente se obtuvo 1 ml del sobrenadante, al cual se le agregó 1 microlitro de acetona (standard interno) y se leyó en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard Mod. 5840-A con detector de flama, con una columna Free Fatty Acid Phase de 6 pies y N_2 como acarreador (Tejada, 1992).

Cinética de líquidos

El día 14 de cada periodo experimental, a las 0800 h, se dosificaron 250 ml de Co-EDTA (825 mg l^{-1} de Co) en solución (Uden et al., 1980) a través de la cánula ruminal de todos los animales. Para determinar la concentración de

Co en el líquido ruminal, se colectaron muestras de fluido ruminal a las 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 30 y 36 h postdosis, congelandolas a -15 C.

Al momento del análisis, todas las muestras fueron descongeladas y centrifugadas a 700 G durante 30 min. para determinar la concentración de Co. Las muestras fueron analizadas en el Centro de Estudios Académicos de la Contaminación Ambiental de la Universidad Autónoma de Querétaro, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 2380 con flama de acetileno.

De acuerdo con Galyean (1984), el Ln de la concentración de Co (Y) se ajustó a una ecuación de regresión con los tiempos de muestreo (X), $Y = a + bX$, para calcular: la tasa de dilución del indicador ($\% \cdot h^{-1}$) = $b \cdot 100$; volumen ruminal (l) = dosis inicial (g)/antiLn(a); tasa de paso o salida del rumen ($litros \cdot h^{-1}$) = Volumen $\cdot b$; tiempo de recambio ruminal (h) = $1/b$.

Evacuación ruminal

El volumen ruminal se obtuvo vaciando manualmente el contenido total del rumen de cada novillo el día 16 a las 0800 de acuerdo al orden en el diseño experimental. Posteriormente se separaron los sólidos y líquidos filtrando el contenido a través de una criba de 1/4 pulgada. Cada fase se pesó y se tomaron submuestras hasta tener un kg de sólidos y un litro de líquidos. Esta muestra se pesó inmediatamente para obtener su densidad, después se secaron

hasta peso constante en un horno de aire forzado a 55 C (Garza, 1990a). El procedimiento completo tomó aproximadamente 40 minutos en cada animal y el contenido ruminal se retornó al animal.

Análisis estadístico

El consumo de alimento y agua, la digestibilidad aparente, los parámetros de digestibilidad *in situ*, de la cinética de líquidos y del contenido ruminal, se analizaron estadísticamente utilizando el siguiente modelo (Federer, 1955):

$$Y_{ijk} = U + B_i + K_j + T_k + E_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = variable de respuesta para el k-ésimo tratamiento en el i-ésimo animal y el j-ésimo periodo.

U = media de la población.

B_i = efecto del i-ésimo animal.

K_j = efecto del j-ésimo periodo.

T_k = efecto del k-ésimo tratamiento.

E_{ijk} = error experimental.

Las medidas repetidas en el tiempo como pH, N-NH₃ y AGV se analizaron como parcelas divididas (Federer, 1955). El término de error para la parcela grande (tratamiento) fue la interacción tratamiento * animal * periodo. El término error para la parcela chica (tiempo) y las interacciones periodo * tiempo y animal * tiempo, fue el error experimental. Se hizo un análisis previo para probar la interacción

tratamiento*tiempo, y no se observaron diferencias significativas. Por lo tanto, para lograr mayor precisión en el análisis, el modelo estadístico que se utilizó es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = U + A_i + P_j + T_k + A*P*T_{ijk} + H_1 + P*H_{k1} + A*H_{i1} + E(ijkl)$$

donde:

Y_{ijk} = lectura en el l-ésimo tiempo, en el k-ésimo tratamiento, durante el j-ésimo periodo del i-ésimo animal.

U = media de la población.

A_i = efecto del i-ésimo animal.

P_j = efecto del j-ésimo periodo.

T_k = efecto del k-ésimo tratamiento.

$A*P*T_{ijk}$ = error de la parcela grande.

H_1 = efecto del l-ésimo tiempo de muestreo.

$P*H_{j1}$ = interacción del j-ésimo periodo y l-ésimo tiempo de muestreo.

$A*H_{i1}$ = interacción del i-ésimo animal y l-ésimo tiempo de muestreo.

$E(ijkl)$ = error experimental.

Se compararon los efectos de la especie de grano, el procesamiento y sus interacciones con el método de contrastes ortogonales (Steel y Torrie, 1981), utilizando el paquete estadístico SAS (1988).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los animales que consumieron el grano rolado fueron más ($P < 0.05$) pesados que los animales que recibieron la dieta con grano molido (Cuadro 4.3). La especie de grano y los procesos no afectaron el consumo cuando se expresó como kg de materia seca consumida por día ($\text{kgMSC} \cdot \text{d}^{-1}$) ó como % del peso vivo; no obstante ésto, la cantidad de rechazos en las dietas con maíz blanco fue mayor numéricamente, sin que ésto reflejara diferencias estadísticas ($P > 0.05$).

Con relación a los litros de agua consumida, se detectó una interacción ($P < 0.01$) entre el proceso y el tipo de grano. El consumo de agua fue mayor cuando se ofreció sorgo rolado. Sin embargo, cuando los animales consumieron los granos molidos, se observó un mayor consumo de agua con el maíz. Al expresar el consumo de agua como % del PV se observó el mismo efecto ($P < 0.02$). No obstante esto, cuando se calculó el consumo de agua como litros $\cdot \text{kg MS}^{-1}$ consumida no se detectaron diferencias ($P > 0.05$).

Estas diferencias al parecer están relacionadas con las características químicas de los dos tipos de grano. En el caso del maíz blanco, de grano cristalino, es más duro debido a que tiene más endospermo córneo con altos porcentajes de cuerpos de almacén de proteínas y matriz de proteína que rodea los gránulos. Esta característica le confiere al maíz un mayor peso específico y una menor capacidad de absorber agua comparado con el grano de sorgo.

4.3. Consumo de alimento y agua de novillos (experimento 1)

Variable	Rolado		Molido		X	Efecto de:			
	Maiz Blanco	Sorgo	Maiz Blanco	Sorgo		EEM ¹	R*M ²	M*S	P*G
Peso, kg	291.34	291.34	289.81	285.25	289.49	1.41	0.03	0.17	0.14
KgMSC ³ ·d ⁻¹	6.94	7.05	7.44	6.99	7.10	0.20	0.32	0.44	0.20
KgMSC·peso ⁻¹ , %	2.41	2.56	2.42	2.44	2.46	0.02	0.43	0.25	0.36
LAC·d ⁻¹	22.55	28.18	26.62	23.98	23.33	1.26	0.96	0.28	1.01
LAC·peso ⁻¹ , %	7.66	9.67	9.19	8.45	8.74	0.44	0.73	0.21	0.42
LAC·KgMSC ⁻¹	3.20	3.78	3.87	3.46	3.58	0.23	0.47	0.72	0.17

¹EEM= Error estandar de la media.

²R*M= rolado vs molido, M*S= maiz blanco vs sorgo, P*G= proceso vs grano.

³KgMSC= Kg de materia seca consumida, LAC= Litros de agua consumida.

Debido a esto el maíz tiene menor respuesta que el sorgo al proceso de rolado (Hibberd *et al.*, 1982a). El mayor consumo en los animales que recibieron el sorgo rolado ó el maíz molido podría explicarse por la necesidad de poner en suspensión más cantidad de partículas en el líquido ruminal. Porque además estos tratamientos tuvieron una tendencia a incrementar la cantidad de líquido unido a las partículas (Cuadro 4.7).

El rolado incrementó la digestibilidad aparente de la materia orgánica (MO), MS y de la fibra detergente neutro (FDN) de las dietas (Cuadro 4.4). Como observaron Galyean *et al.* (1976) y Stock *et al.* (1987), éste efecto es mayor en las dietas que contienen maíz que las que tienen sorgo (Swingle y Waymack, 1977; Cheng *et al.*, 1994). La digestibilidad aparente de la proteína cruda (PC) y FDN también fue mayor con el maíz. No se encontraron diferencias por el efecto del procesamiento ($P>0.05$) en la digestibilidad de la proteína. Rooney y Pflugfelder (1986) indican que este aspecto está más correlacionado con la especie de grano.

El rolado del grano de maíz ó de sorgo no incrementó ($P>0.05$) la cantidad de MO potencialmente digestible en el rumen (Cuadro 4.5). El valor promedio de rolado y molido obtenido para el grano de sorgo, del 55.8% fue menor ($P<0.01$) que el 79.6% calculado para el maíz. El intercepto, equivalente a la máxima digestión, no fue afectado por los tratamientos; estos valores fueron menores a los observados

Cuadro 4.4. Digestibilidad aparente de las dietas (experimento 1)

Variable	Rolado		Molido		— X	Efecto de:			
	Maiz Blanco	Sorgo	Maiz Blanco	Sorgo		EEM ¹	R*M ²	M*S	P*G
Materia orgánica, %	61.49	58.95	58.56	52.65	57.91	1.95	0.05	0.07	0.42
Materia seca, %	63.51	60.81	60.41	54.17	59.72	1.90	0.04	0.05	0.39
Proteína cruda, %	70.58	63.28	72.18	62.99	67.26	2.19	0.77	0.01	0.68
FDN ³ , %	43.62	40.40	38.83	38.15	40.25	0.79	0.01	0.05	0.16

¹EEM= Error estándar de la media.

²R*M= rolado vs molido, M*S= maíz blanco vs sorgo, P*G= proceso vs grano.

³FDN= Fibra detergente neutro.

Cuadro 4.5. Digestibilidad in situ de la materia orgánica del maíz blanco o sorgo procesados (experimento 1)

Variable	Rolado		Molido		\bar{X}	EEM ¹	Efecto de:		
	Maíz Blanco	Sorgo	Maíz Blanco	Sorgo			R*M ²	M*S	P*G
MOPD ³ (72 h), %	79.13	61.11	80.07	53.52	68.48	3.05	0.32	0.01	0.21
MOPD (72 h), g	5.62	4.61	6.03	4.09	5.09	0.31	0.87	0.01	0.18
Intercepto	87.81	81.90	91.26	91.16	88.03	5.23	0.27	0.58	0.60
C, %·h ⁻¹	9.21	9.79	7.70	4.38	7.77	2.66	0.24	0.62	0.49
Tiempo lag, h	5.55	3.31	8.73	3.19	3.60	1.70	0.37	0.01	0.02

¹EEM= Error estándar de la media.

²R*M= rolado vs molido, M*S= maíz blanco vs sorgo, P*G= proceso vs grano.

³MOPD= Materia orgánica potencialmente digestible, C= Tasa de digestión.

por Mendoza et al. (1995) cuando estimaron la degradación del almidón con los mismos tipos de grano (maíz= 113.5, sorgo= 122.0), las tasas de digestión también fueron diferentes (maíz= 6.62, sorgo= 7.05 %·h⁻¹). El molido del grano aumenta el área superficial y usualmente incrementa la tasa de digestión (Owens y Goetsh, 1988). Sin embargo, en el presente estudio no se apreciaron diferencias significativas ($P>0.05$) en la tasa de digestión ruminal. Se espera que la digestión sea más extensa cuando aumenta el tiempo de residencia en el rumen, sin embargo, la extensión de la digestión depende más de la tasa de digestión que de la tasa de paso ruminal (Owens y Goetsh, 1984). Las diferencias, observadas entre el grano de maíz blanco y el sorgo, quizá se debieron a las características de solubilidad de la proteína que son altamente variables entre los granos (Guiragossian, 1978). Observándose mayor tasa de digestión del almidón de sorgo con amiloglucosidasa que para el almidón de maíz; entre los almidones de sorgo, los tipos cerosos y harinosos son los más rápidamente hidrolizados que los normales (Hibberd et al., 1982a).

En relación al tiempo lag, se observó interacción entre el proceso y el grano. Con el grano de maíz blanco, el tiempo lag fue mayor ($P<0.05$), que con el sorgo y disminuyó con el rolado. Esto se debió posiblemente a que el maíz blanco tiene mayor contenido de proteínas con estructuras más complejas que rodean los gránulos de almidón.

El proceso de rolado no modificó el tiempo lag en el grano de sorgo. Este efecto posiblemente se deba a que la proteína y los taninos inhiben la actividad de la alfa-amilasa, lo cual limita el ataque bacteriano al almidón de los granos, porque los microbios no muestran preferencia por alguna variedad de almidón de sorgo o maíz en particular, siempre y cuando se encuentre disponible (Hibberd et al., 1982b).

En ambos granos, la tasa de dilución (Cuadro 4.6) fue más alta cuando se ofreció rolado, ésta se incrementó ($P < 0.01$) cuando se incluyó sorgo rolado en la dieta ($8.84 \% \cdot h^{-1}$), la tasa de paso de los líquidos también fue más alta con este tratamiento ($P < 0.01$) y numericamente el volumen ruminal fue también más alto.

Los valores observados de las tasas de dilución fueron mayores que los estimados por Cole et al. (1976b), cuando incluyó sorgo ($3.6 \% \cdot h^{-1}$) y maíz rolado ($4.0 \% \cdot h^{-1}$); estos datos fueron calculados utilizando lignina, y asumiendo un volumen ruminal constante de 50 litros. Cecava et al. (1988) obtuvieron un valor más alto ($6.19 \% \cdot h^{-1}$) cuando incluyó pasta de soya a una dieta basada en ensilaje de maíz. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio están dentro del rango que proponen Owens y Goetsch (1988) al aplicar la siguiente fórmula: tasa de dilución ($\% \cdot h^{-1}$) = $4.21 + 0.77$ (consumo de concentrado) + 2.32 (consumo de forraje).

Cuadro 4.6. Cinética ruminal de líquidos estimada con Co-EDTA (experimento 1)

Variable	Rolado		Molido		\bar{X}	EEM ¹	Efecto de:		
	Maiz Blanco	Sorgo	Maiz Blanco	Sorgo			R*M ²	M*S	P*G
Tasa de dilución, %·h ⁻¹	7.76	8.84	5.89	5.24	6.93	0.44	0.01	0.65	0.09
Tasa de paso, l·h ⁻¹	2.92	4.54	2.59	2.24	3.07	0.40	0.01	0.16	0.05
Volumen ruminal, l	38.14	51.45	49.09	49.22	46.73	7.09	0.60	0.41	0.35
Tiempo de recambio, h	13.16	11.41	19.94	22.02	16.63	2.47	0.01	0.94	0.47

¹EEM= Error estándar de la media.

²R*M= rolado vs molido, M*S= maíz blanco vs sorgo, P*G= proceso vs grano.

Prigge et al. (1978) ajustaron la ecuación de regresión: $Y = -4.594 + 4.041(X)$ donde Y= síntesis de proteína microbiana·100 g de MS⁻¹ fermentada en el rumen y X= tasa de dilución (%·h⁻¹), con r²= 0.97. De acuerdo con esto, se tendrían 31.12 g de proteína microbiana·100 g de MS⁻¹ fermentada con el tratamiento de sorgo rolado y 16.58 con sorgo molido que es el nivel más bajo.

Teóricamente, la condición ideal para que los microorganismos alcancen su máximo rendimiento, es que el ritmo de flujo sea similar al ritmo de división celular, lo que permitiría emplear la energía mínima necesaria para su mantenimiento (Orskov, 1988); lo cual sugiere que la tasa de dilución está directamente relacionada a la eficiencia de síntesis microbiana, y se incrementa proporcionalmente con la densidad energética de la ración. Esta tasa de dilución puede ser alterada por factores físicos y químicos, tales como la tasa de digestión, llenado del rumen, tasa de paso, tamaño de partícula y el flujo de saliva (Prigge et al., 1978).

Los tratamientos no modificaron el contenido de líquidos, sólidos ni el porcentaje de MS ruminal, obtenidos por evacuación ruminal (Cuadro 4.7). Los valores más altos siguieron siendo para el sorgo rolado, sin ser estadísticamente diferentes (P>0.05). Estos datos contrastan con los obtenidos por Garza et al. (1992), aunque el porcentaje de materia seca ruminal fue similar.

Cuadro 4.7. Contenido ruminal de novillos Brahman (experimento 1)

Variable	Rolado		Molido		X	EEM ¹
	Marr Blanco	Sorbo	Marr Blanco	Sorbo		
LT ² , litros	10.41	12.01	11.80	11.27	11.83	1.33
LT, kg	12.95	18.55	15.97	15.29	15.66	2.30
LL, litros	7.66	8.66	7.99	8.28	8.15	0.80
LU, litros	2.75	3.35	3.81	2.98	3.22	0.63
Solidos, kg	1.68	2.27	2.04	1.70	1.92	0.27
MSR, %	12.89	14.80	13.53	11.17	13.10	2.57
RLU:MSR	0.22	0.29	0.28	0.26	0.27	0.05

¹EEM= Error estándar de la media.
²LT= líquido total, LL= líquido libre, LU= líquido unido MSR= materia seca ruminal.
RLU:MSR= relación líquido unido:materia seca ruminal.

Como se aprecia en los cuadros 4.6 y 4.7, el volumen ruminal estimado utilizando Co-EDTA y por evacuación ruminal, fue diferente. Esto pudo ser debido a que la evacuación ruminal se hizo antes de la comida, es decir 24 horas postprandium; en contraste con las cuatro horas posprandiales como lo hicieron Bernal (1989) y Garza (1990b). El último autor ha señalado que el volumen ruminal cambia continuamente, dentro y a través de los días.

El rolado de los granos redujo (P<0.01) la concentración de NH₃-N en el líquido ruminal, lo cual podría indicar que hubo menos proteólisis ruminal con este

tratamiento; o bien, que el N se usó más rápidamente (Cuadro 4.8). Con dietas de composición similar, Basurto (1995) reportó niveles de amoniaco más altos a las dos horas postprandium ($19.9 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$), ya que él ofreció el rastrojo de sorgo entero, separado del concentrado. Los animales consumieron el concentrado en corto tiempo y el forraje entero lo consumieron lentamente. La concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ observada en este experimento es similar a la reportada por Weakley (1983) cuando adicionó NNP a dietas altas en granos. En éstas las concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el líquido ruminal estuvieron por debajo de $10 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ en todos los tiempos de muestreo. Prigge et al. (1978) observaron una concentración de $8.5 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ a las dos horas postprandium cuando ofrecieron maíz rolando. Varga et al. (1981), cuando adicionaron gallinaza o ácido úrico a dietas con harina de maíz, detectaron una concentración de amoniaco en el rumen de 4.51 y $3.68 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$, respectivamente. Cecava et al. (1988), al adicionar pasta de soya, gluten de maíz o urea en la ración observaron que la concentración promedio de amoniaco ruminal fue de $12.1 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$. En otro experimento, cuando se incluyó soya ó una combinación de harina de carne/gluten de maíz en la dieta, estos valores fueron de 18.0 y $13.5 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ (Cecava et al., 1991).

El incremento de la disponibilidad del almidón de la dieta reduce el pH ruminal (Emmanuele y Staples, 1994), por lo tanto en este experimento se esperaba que el pH fuera menor al incluir granos rolados en la dieta. Se observó una

Cuadro 4.8. Nitrógeno amoniacal y fermentación ruminal (experimento 1)

Variable	Relado		Molido		\bar{X}	EEM ¹	Efectos del		
	Maiz Blanco	Sorgo	Maiz Blanco	Sorgo			R ²	M ²	P ²
NHS-N, mg·di ⁻¹	3.07	2.28	5.62	4.48	4.03	0.55	0.01	0.01	0.01
pH	6.07	6.24	6.13	6.03	6.12	0.04	0.98	0.01	0.01
Ac. acético, mM·l ⁻¹	37.69	40.35	33.91	32.55	36.12	1.35	0.01	0.03	0.04
Ac. propiónico, mM·l ⁻¹	13.64	10.73	11.24	9.30	11.96	0.50	0.01	0.01	0.04
Ac. butírico, mM·l ⁻¹	8.41	11.11	7.07	6.30	8.22	0.46	0.01	0.04	0.01

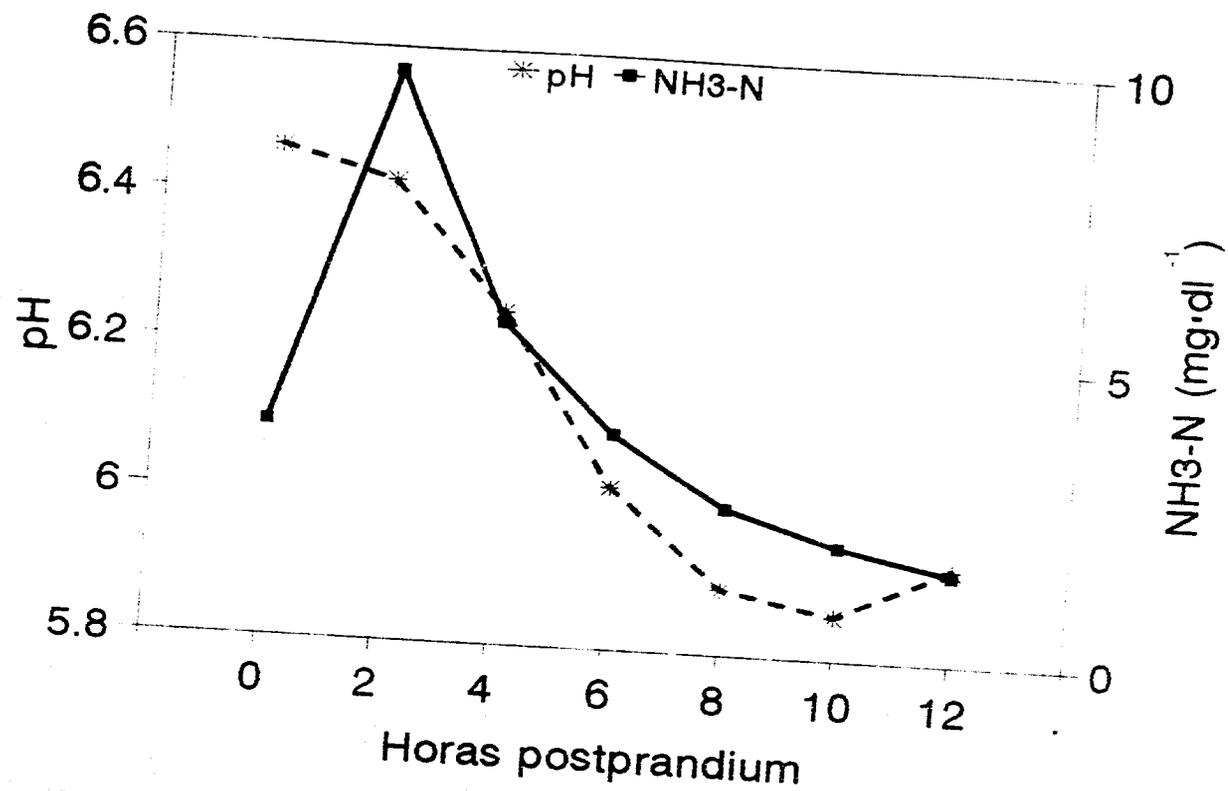
¹EEM= Error estándar de la media.

²R²= relado vs molido. M²= maiz blanco vs sorgo. P²= proceso vs grano.

interacción ($P < 0.01$) entre el proceso y el grano. Cuando el grano se ofreció rolado el pH fue mayor con el sorgo, pero cuando se incluyó molido el pH fue más alto con el maíz. Es posible que con estas dietas, la forma física del almidón y su composición química, que afectaron la tasa de dilución y de paso, hayan provocado el aumento del pH de manera similar. No se apreciaron diferencias ($P > 0.05$) entre los tratamientos a través de los tiempos de muestreo.

El rango de pH óptimo para la proteólisis y desaminación está entre 6 y 7 (Tamminga, 1979). Cuando el pH se reduce por abajo de 6, se reduce el suministro de aminoácidos, lo cual disminuye también la actividad celulolítica (Erfle et al., 1982) y la presencia de protozoarios (Kotarski, 1991). Es probable que la mayor actividad microbiana ocurra durante las primeras seis horas postprandiales.

Debido al pH observado (Gráfica 4.1), el NH_3 no se absorbió pasivamente a través de la pared ruminal para ser reciclado o excretado (Mizwicki et al., 1980). Bartley y Deyoe (1977) mencionan que cuando el pH disminuye por debajo de siete, prevalece el ión amonio (NH_4^+) que no es absorbido a través de la pared ruminal. Por otra parte, Owens y Bergen (1983) mencionan que la absorción de amoniaco está relacionada positivamente con su concentración en el rumen. Sin embargo, aun no se ha señalado cual es el nivel mínimo para que esto suceda. Se ha reconocido que la acumulación de amoniaco en el rumen, da como resultado una pobre retención



Gráfica 4.1. Cambios en el NH3-N y pH ruminal (experimento 1)

de nitrógeno y refleja un imbalance del nitrógeno dietético y la energía (Owens et al., 1980).

En promedio, la máxima ($P < 0.01$) concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ se observó a las dos horas posprandiales, reduciéndose rápidamente hasta la seis horas y más lentamente las siguientes seis horas. Weakley (1983) reporta que una concentración ruminal de $3 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el líquido ruminal es adecuada para maximizar la eficiencia de síntesis de la proteína microbiana. Satter y Roffler (1977) establecieron que el rendimiento microbiano no se incrementa al aumentar la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ por encima de $5 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$, y Mehrez et al. (1977) estimaron que para maximizar la digestión *in situ* este requerimiento es de $23.5 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$. Estas diferencias en la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ reportadas, tienen dos explicaciones: (1) que la concentración de amoníaco necesaria para el máximo rendimiento microbiano no es la misma que permite un óptimo de fermentación ruminal, y (2) dicha concentración varía con el sustrato (Orskov, 1988).

De lo anterior, se deduce que la reducción de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el líquido ruminal en el presente experimento posiblemente se debió a la actividad microbiana. Aún cuando existe la duda si un aumento en la tasa de fermentación de carbohidratos puede causar una disminución en la producción de amoníaco o únicamente permite a los organismos utilizarlo eficientemente (Orskov, 1988). Cecava et al. (1991), cuando incluyeron pasta de soya en dietas altas y bajas en forraje,

observaron incrementos en la eficiencia de síntesis de proteína microbiana y en el flujo de proteína microbiana al intestino delgado, estos efectos no fueron debidos a la concentración ruminal de $\text{NH}_3\text{-N}$ sino a un aumento de factores del crecimiento derivados de la proteólisis. En dietas con gallinaza se ha sugerido que existen compuestos que estimulan ciertos grupos de microorganismos (Preston y Leng, 1989).

La fermentación de carbohidratos produce AGV que utiliza directamente el rumiante, y genera ATP para los procesos de síntesis microbiana (Bergen y Yokohama, 1977). La concentración molar de AGV en el fluido ruminal fue mayor ($P < 0.01$) con el grano rolado. La concentración de ácido propiónico en el líquido ruminal fue mayor ($P < 0.01$) en los animales que consumieron maíz; contrastando con el ácido butírico cuando se ofreció sorgo (Cuadro 4.8). De acuerdo a la ecuación propuesta por Taminga y Van Vuuren (1988): $Y = 7.73 - 0.014 X$, donde $Y = \text{pH ruminal}$ y $X = \text{concentración de AGV (mmol}\cdot\text{l}^{-1})$ con $r^2 = 0.71$, la máxima concentración total de AGV en el presente experimento debió ser de $121 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Los mismos autores señalan que los AGV pueden salir rápidamente del rumen por difusión cuando el pH es bajo o la concentración es alta, o bien, por el paso de los líquidos hacia el omaso. Con las dietas utilizadas, la tasa de dilución alta pudo haber reducido la concentración de los AGV totales que fueron ligeramente menores que los observados por Lee et al. (1982) al ofrecer maíz rolado en

diferentes proporciones; y en dietas con 15% de pollinaza (Oltjen y Dinius, 1976). Aún cuando Smith y Calvert (1976) observaron valores de AGV más altos al adicionar 14% de pollinaza en dietas para borregos con base en harina de maíz.

La presencia de AGV en el líquido ruminal disminuye el pH (Emmanuele y Staples, 1994), éste alcanzó su punto mínimo a las diez horas postprandium.

A la vez el pH afecta la proporción de AGV (Esdale y Satter, 1971), y aumentó la proporción de ácido proplónico hasta las diez horas postprandium (Cuadro 4.9).

Cuadro 4.9. Cambios postprandium en la composición porcentual de ácidos grasos volátiles (experimento 1).

AGV*	Horas postprandium												\bar{X}	EEM ¹		
	0	2	4	6	8	10	12									
C2	67.95	b	66.63	b	66.04	bc	65.22	bc	64.18	bc	63.37	bc	63.49	bc	62.27	0.44
C3	18.00	a	18.64	bcd	19.47	bc	20.52	b	21.29	ab	21.67	a	21.69	a	20.18	0.47
C4	14.05		14.72		14.48		14.26		14.53		14.95		14.81		14.54	0.51
Tot.	52.56	ab	48.21	b	46.02	ab	54.49	ab	59.26	ab	64.73	a	63.80	a	55.58	2.88

*AGV= Ácidos grasos volátiles, C2= Ac. Acético, %; C3= Ac. propiónico, %, C4= Ac. butírico, %; Tot.= Total mM/l.

¹EEM= Error estándar de la media.

abc= Medias dentro del mismo renglón con distinta literal son diferentes estadísticamente (P<0.05).

CAPITULO V
DIGESTION RUMINAL EN NOVILLOS BRAHMAN ALIMENTADOS CON
MAIZ AMARILLO, POLLINAZA Y NIVELES CRECIENTES DE
RASTROJO DE SORGO

Maldonado M. J. J. y Garza, J. D.

INTRODUCCION

Cuando se proporcionan dietas altas en granos, la rápida fermentación del almidón a ácidos orgánicos ocasiona problemas metabólicos que reducen la eficiencia energética (Owens et al., 1986). Para evitar estos efectos se han empleado técnicas de manejo de la dieta (Ewing et al., 1986; Beauchemin, 1992; Beauchemin et al., 1994) y se han adicionado aditivos y amortiguadores del pH (Goetsch et al., 1983). Al aumentar el nivel de forraje en la dieta desde el 9%, también se mejora, regula o disminuyen los efectos adversos de la rápida fermentación del almidón (Stock et al., 1990).

Cuando se adiciona forraje a la dieta, se incrementa la masticación y la rumia, propiciando con ello una mayor exposición del alimento al ataque bacteriano y por lo tanto, se incrementa la extensión potencial de la digestión. Por otro lado el flujo de saliva aumenta, haciendo que la estratificación ruminal incremente la tasa de dilución y el pH. Estos efectos pueden aumentar la digestión de la fibra reduciendo el tiempo lag (Owens y Goetsch, 1984).

OBJETIVO

Determinar el efecto del nivel de inclusión del rastrojo de sorgo picado (15, 20, 25 y 30%) en una dieta de maíz amarillo-pollinaza en la digestibilidad de los nutrimentos, la cinética ruminal, el pH, la concentración de NH₃-N y de AGV.

MATERIAL Y METODOS

La metodología que se siguió en este experimento ha sido descrita en el experimento 1. Se variaron los niveles de rastrojo de sorgo desde 15, 20, 25 a 30% de inclusión en la dieta a expensas del maíz amarillo, dejando fijos los niveles de pollinaza (Cuadro 5.1). La composición química de las raciones tuvieron contenidos similares de materia orgánica (MO), materia seca (MS) y cenizas; la proteína cruda (PC) se redujo al incrementar el nivel de forraje y todas las fracciones de fibra aumentaron. El calendario y horario de actividades se muestra en el cuadro 5.2 y el apéndice 1 (A1).

El procedimiento de digestibilidad *in situ* de la fibra del rastrojo de sorgo se hizo de acuerdo a la metodología descrita en el experimento 1. Se distribuyeron los cuatro tratamientos en cuatro animales teniendo tres repeticiones (bolsas) en cada uno, con los siguientes tiempos de incubación: 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96 horas. El análisis estadístico de los parámetros calculados se hizo con un diseño completamente al azar (Steel y Torrie, 1981).

Cuadro 5.1. Composición y análisis de las dietas
(% base seca) (experimento 2)

Ingrediente	% de rastrojo de sorgo			
	15	20	25	30
Maíz amarillo quebrado	32.00	29.50	27.00	24.50
Maíz amarillo molido	32.00	29.50	27.00	24.50
Pollinaza	20.00	20.00	20.00	20.00
Rastrojo de sorgo	15.00	20.00	25.00	30.00
Sal común	1.00	1.00	1.00	1.00
Análisis:				
Materia orgánica	91.55	90.62	92.42	91.74
Cenizas	8.45	9.37	7.58	8.25
Proteína	12.46	12.12	11.64	10.46
Fibra detergente neutro	34.35	36.40	38.62	45.37
Fibra detergente ácido	15.21	19.34	19.34	19.54
Hemicelulosa	19.14	17.06	19.28	25.28
Celulosa	9.86	10.88	12.51	12.89
Lignina	5.16	5.39	5.48	6.13

Cuadro 5.2. Horario de actividades (experimento 2).

día	hora						
	0800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
9	h, c,				c		
10	c				c		
11	c				c		
12	c				c		
13	c, h			h	c		h
14	c ₀ , c, h, r	r	r	h, r	c, r	r	h, r
15	c, r			h, r	c		h, r
16	v	a					

Nota: h= muestra de heces, c= dosis de Cr₂O₃, c₀= dosis de Co-EDTA, r= muestra de líquido ruminal, v= vaciado ruminal, a= consumo de agua

RESULTADOS Y DISCUSION

Debido a que el alimento se ofreció al 2.7% del peso vivo en base seca (PVBS), no se obtuvieron diferencias estadísticas en el consumo ($P>0.05$) por el efecto de la adición de forraje a la dieta (Cuadro 5.3).

El consumo de agua no se modificó ($P>0.05$) al incrementar el forraje en la dieta. Winchester y Morris (1956), y Murphy *et al.* (1983) indican que el consumo de agua es proporcional al consumo de materia seca y la temperatura ambiente. Debido a esto, el consumo de agua ha variado de acuerdo a las condiciones ambientales y a los componentes de la dieta en la mayoría de los casos. Zorrilla-Ríos *et al.* (1990) establecieron que con dietas altas en concentrado, el alto consumo de NaCl aumenta el consumo de agua en 55%, reduciendo el volumen ruminal en 35%; mientras que en animales que consumen dietas a base de forraje son menos susceptibles a la manipulación ruminal por medio de compuestos que modifican la presión osmótica. En novillos de 245 kg alimentados con gallinaza, el consumo de agua fue de 21 litros·d⁻¹ (Oltjen y Dinius, 1976). En condiciones similares al presente experimento, Basurto (1995) observó, en novillos Brahman de 361 kg, consumos de 35.74 litros·d⁻¹ al adicionar a la dieta 30% de pollinaza. En contraste, en novillos de 270 kg alimentados en corrales comerciales con temperatura media ambiente de 10 C y máxima de 21, similar a las condiciones en el presente trabajo, el

consumo de agua fue de $23.1 \text{ litros} \cdot \text{d}^{-1}$ (Hicks et al., 1990). Con vaquillas Angus x Hereford de 545 kg los consumos de agua fueron de $22.3 \text{ litros} \cdot \text{d}^{-1}$ (Garza y Owens, 1990).

Cuadro 5.3. Consumo de alimento y agua en novillos Brahman (experimento 2)

Variable	% de rastrojo de sorgo (BS ¹)				\bar{X}	EEM ³
	15	20	25	30		
Peso, kg	282.37	280.81	283.25	285.25	282.92	3.57
KgMSC ² ·d ⁻¹	6.99	6.88	7.25	7.05	7.04	0.25
KgMSC·peso ⁻¹	2.48	2.46	2.55	2.47	2.49	0.00
LAC·d ⁻¹	25.56	24.03	24.40	23.97	24.49	0.90
LAC·peso ⁻¹ , %	9.15	8.60	8.64	8.53	8.71	0.29
LAC·kgMSC ⁻¹	3.72	3.49	3.38	3.41	3.50	0.08

¹BS= base seca

²KgMSC= Kg de materia seca consumida, LAC= Litros de agua consumida.

³EEM= Error estándar de la media.

La digestibilidad aparente de las raciones se muestra en el Cuadro 5.4. Con excepción de la fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente ácido (FDA), la digestibilidad aparente de los demás componentes químicos de las raciones se redujeron linealmente ($P < 0.05$) al incrementar el rastrojo de sorgo en la dieta.

Cuadro 5.4. Digestibilidad aparente de las dietas (experimento 2)

Variable	% de rastrojo de sorgo (BS ¹)				\bar{X}	EEM ²	Efecto:		
	15	20	25	30			11 ³	12	13
Materia orgánica, %	62.83	60.51	57.06	55.26	58.91	1.90	0.02	0.89	0.75
Materia seca, %	64.53	62.42	59.27	57.83	61.01	1.84	0.03	0.86	0.75
Proteína cruda, %	76.53	73.22	66.77	70.89	71.86	2.12	0.05	0.13	0.20
FDN ⁴ , %	40.17	36.76	36.96	37.41	38.08	1.25	0.15	0.29	0.95
FDA, %	36.11	36.55	33.22	34.08	34.99	1.06	0.09	0.84	0.14
Celulosa, %	36.75	30.28	30.99	27.86	31.47	2.30	0.04	0.49	0.32
Hemicelulosa, %	41.60	41.84	39.02	37.09	39.89	1.27	0.02	0.42	0.51

¹BS= base seca.

²EEM= Error estándar de la media.

³11= lineal, 12=cuadrático, 13= cúbico.

⁴FDN= Fibra detergente neutro. FDA= Fibra detergente ácido.

Los resultados obtenidos de digestibilidad de la MO y MS fueron similares a los de otros autores (Basurto, 1995; Smith y Calvert, 1976), los valores de la PC fueron mayores (71.86 vs 58.3) y los de la FDN (38.08 vs 50.50) y FDA (34.99 vs 42.47) un poco menores. La diferencia en la digestibilidad de la PC, en el presente trabajo y los trabajos de los autores referidos, se deben al menor contenido de PC en las dietas que ellos utilizaron.

La digestibilidad de la PC es afectada positivamente por el incremento de su contenido en la dieta (Swingle, et al. 1977), siempre que la materia seca se mantenga constante. Sin embargo, los cambios en la digestibilidad son cuantitativamente pequeños cuando el nivel de PC es superior a 12 - 15% (Maynard et al., 1989). En el presente experimento la digestibilidad de la PC disminuyó de manera lineal de acuerdo a su contenido en la dieta, siendo menor a medida que se incrementó el nivel de rastrojo de sorgo en la ración.

Es posible que con el nivel más bajo de rastrojo de sorgo en la dieta, la cantidad de energía disponible en el rumen fuera mayor. Favoreciendo de esta manera la utilización del MNP (Williams et al., 1969) proveniente de la pollinaza, e incrementando la digestibilidad aparente de la PC. Al incrementar el nivel de rastrojo de sorgo, no se alteró la digestibilidad aparente de la FDN ni de la FDA, y se disminuyó la digestibilidad aparente de la celulosa y hemicelulosa de la ración.

La materia orgánica potencialmente digestible (MOPD) y la fracción potencialmente digestible (FPD) se redujeron ($P < 0.05$) con el 20% de rastrojo de sorgo, produciendo un efecto cuadrático; a partir de este nivel se incrementó linealmente con el aumento del rastrojo de sorgo ($P < 0.01$) (Cuadro 5.5). El intercepto, que equivale a la máxima digestión, no fue alterado por los tratamientos, así como en la constante de digestión que en promedio fue de $8.63 \% \cdot h^{-1}$. Al adicionar más concentrado a la dieta, la tasa de digestión de la MO se reduce, solo si disminuye el pH (Franklin et al., 1981). Debido a que el pH en el presente experimento no fue menor de 6.0, no se redujo la tasa de digestión de la MO con el menor nivel de rastrojo de sorgo.

La fracción de FDN es de lenta digestibilidad porque contiene principalmente celulosa, hemicelulosa, lignina y cantidades variables de nitrógeno, minerales y otros compuestos. Debido a su variable composición entre distintas plantas, existe una diferencia considerable entre la digestibilidad de sus fracciones, fluctuando entre $27 \% \cdot h^{-1}$ en la avena a $1 \% \cdot h^{-1}$ en la cascarilla de soya, con extensiones de digestión que van de 13% en la cáscara de cacahuete a 78% en la pasta de soya (Weiss et al., 1989).

La FDN potencialmente digestible (Cuadro 5.6.) expresada en % y en gramos, se incrementó linealmente ($P < 0.01$) con el nivel de rastrojo en la ración. La extensión de la digestión (a las 72 h) fue más baja que la observada por Wedig et al. (1986) para la alfalfa y orchard (62.53 y

Cuadro 5.5. Digestibilidad in situ de la materia orgánica del rastrojo de sorgo

Variable	% de rastrojo de sorgo (BS ¹)				\bar{X}	EEM ²	Efecto:		
	15	20	25	30			11 ³	12	13
MOPD ⁴ (96 h), %	51.01	48.84	53.19	55.96	52.25	1.11	0.01	0.05	0.14
MOPD (96 h), g	3.40	3.17	3.52	3.78	3.47	0.09	0.01	0.02	0.13
Intercepto	115.19	116.26	106.83	115.57	112.46	10.93	0.69	0.87	0.63
C, %·h ⁻¹	10.09	8.23	7.60	8.60	8.63	1.47	0.46	0.35	0.95
Tiempo lag, h	7.63	12.70	8.54	5.80	8.67	1.45	0.17	0.02	0.14

¹BS= base seca.

²EEM= Error estándar de la media.

³11= lineal, 12=cuadrático, 13= cúbico.

⁴MOPD= Materia orgánica potencialmente digestible, C= Tasa de digestión.

Cuadro 5.6. Digestibilidad in situ de la fibra detergente neutro del rastrojo de sorgo

Variable	% de rastrojo de sorgo (BS ¹)				\bar{X}	EEM ²	Efecto:		
	15	20	25	30			11 ³	12	13
FDNPD ⁴ (96 h), %	51.76	52.00	53.41	56.18	53.14	0.94	0.01	0.12	0.61
FDNPD (96 h), g	3.20	3.15	3.32	3.17	3.34	0.05	0.01	0.01	0.97
Intercepto	86.29	83.97	79.30	94.42	85.99	0.04	0.24	0.04	0.19
C, %·h ⁻¹	4.60	2.59	3.38	7.95	4.63	0.79	0.01	0.01	0.78
Tiempo lag, h	20.08	30.64	19.18	5.86	18.94	2.95	0.01	0.01	0.16

¹BS= base seca.

²EEM= Error estándar de la media.

³11= lineal. 12=cuadrático, 13= cúbico.

⁴FDNPD= Fibra detergente neutro potencialmente digestible. C= Tasa de digestión.

65.59%). Con una gramínea de menor calidad (*Bromus inermis*) este valor fue más bajo (45.2%) cuando se incubó en el rumen de novillos alimentados con dietas altas en maíz (Carey et al., 1993). Los tratamientos no afectaron el intercepto. La constante de digestión y el tiempo lag se incrementaron en forma cuadrática, observándose la máxima tasa de digestión y el menor tiempo lag en el nivel de 30% de rastrojo de sorgo.

Se ha observado (Smith et al., 1971) que la tasa de digestión de la FDN está relacionada positivamente con el contenido celular de los forrajes y que la adición de almidón de maíz crudo disminuye la digestibilidad de la FDN. Lo cual está de acuerdo con lo observado en el presente estudio, cuando se redujo el nivel de rastrojo de sorgo, hasta el 20%. En contraste, Mertens y Loften (1980), utilizando también un sistema *in vitro* y amortiguando el pH en 6.8, establecieron que la adición de almidón no afecta la cinética de digestión de la FDN; sin embargo, incrementa linealmente el tiempo lag y reduce la extensión de digestión potencial, similar a lo observado en el presente trabajo.

Al adicionar forraje en las dietas, para mantener la función y las características de fermentación ruminal (Erdman, 1988), se mejoró la digestión de la fibra (Mac Rae y Armstrong, 1969). Por la actividad de las bacterias la presencia de un sustrato suprime la utilización del otro (Hobson, 1972).

El porcentaje de FDA potencialmente digestible y la fracción potencialmente digestible (Cuadro 5.7) se

incrementaron cuadráticamente con el aumento de rastrojo en la dieta, estos valores son similares al de la paja de cebada (Wheeler et al., 1979) que está considerada dentro de los forrajes de bajo valor nutritivo. No se afectaron el intercepto, la constante de digestión ni el tiempo lag. En este último caso los valores fueron altos y posiblemente no tienen un significado biológico. El tiempo lag refleja las barreras físicas estructurales (contenido de lignina, cutina y sílice) para la digestión de la pared celular. Además de las inhibiciones a la actividad enzimática que imponen los taninos y fenilpropanoides (Hoover, 1986) en el rastrojo de sorgo.

La fracción potencialmente digestible de la hemicelulosa (Cuadro 5.8) fue mayor en el nivel de 30% de rastrojo de sorgo, apreciándose un efecto cuadrático. Los otros parámetros de digestibilidad *in situ* no fueron afectados por los tratamientos.

Dehority y Scott (1967) han establecido que la susceptibilidad de la celulosa y hemicelulosa al ataque y digestión en cultivos puros de bacterias ruminales, varía considerablemente entre las diferentes especies de forraje. Esto es debido a la tasa de colonización de las partículas de forrajes toscos es deficiente, porque las bacterias celulolíticas asociadas a las partículas es escasa, en relación a la cantidad total de estas bacterias en la fase líquida (Bowman y Firkins, 1993).

Cuadro 5.7. Digestibilidad in situ de la fibra detergente ácido del rastrojo de sorgo

Variable	% de rastrojo de sorgo (BS ¹)				\bar{X}	EEM ²	Efecto:		
	15	20	25	30			11 ³	12	13
FDAPD ⁴ (96 h), %	88.67	94.12	93.95	66.85	85.90	6.20	0.04	0.03	0.46
FDAPD (96 h), g	1.32	1.39	1.52	0.96	1.30	0.07	0.01	0.01	0.04
Intercepto	139.90	107.00	145.20	98.23	122.57	18.58	0.32	0.72	0.10
C, %·h ⁻¹	7.19	7.86	6.22	8.23	7.38	1.48	0.83	0.66	0.40
Tiempo lag, h	42.26	41.09	42.54	45.29	42.80	6.90	0.74	0.78	0.97

¹BS= base seca.

²EEM= Error estándar de la media.

³11= lineal, 12=cuadrático, 13= cúbico.

⁴FDAPD= Fibra detergente ácido potencialmente digestible, C= Tasa de digestión.

Cuadro 5.8. Digestibilidad in situ de la hemicelulosa del rastrojo de sorgo

Variable	% de rastrojo de sorgo (BS ¹)				\bar{X}	EEM ²	Efecto:		
	15	20	25	30			11 ³	12	13
HPD ⁴ (96 h), %	54.14	51.06	47.91	57.80	52.73	2.43	0.49	0.03	0.26
HPD (96 h), g	1.19	1.09	1.06	1.34	1.17	0.05	0.09	0.01	0.29
Intercepto	100.13	110.26	98.53	106.33	103.81	9.20	0.87	0.90	0.34
C, %·h ⁻¹	12.85	7.61	13.87	6.12	10.11	3.06	0.33	0.69	0.09
Tiempo lag, h	29.45	53.42	31.05	46.44	40.09	8.96	0.49	0.64	0.06

¹BS= base seca.

²EEM= Error estándar de la media.

³11= lineal. 12=cuadrático, 13= cúbico.

⁴HPD= Hemicelulosa potencialmente digestible, C= Tasa de digestión.

Al adicionar forraje a las dietas con granos, se busca promover mayores tasas de dilución y para permitir al animal tener un mejor consumo (Varga y Hoover, 1983). En el presente trabajo el consumo de alimento no fue una variable de respuesta.

La tasa de dilución se incrementó linealmente ($P < 0.07$) al adicionar rastrojo de sorgo a la dieta (Cuadro 5.9), sin que se haya incrementado el consumo de agua (Cuadro 5.3), la tasa de paso y el volumen ruminal. Este efecto posiblemente esta asociado con la entrada de saliva al rumen debido a la mayor actividad de rumia (Owens y Goetsch, 1988). Orskov (1988) menciona que el frio incrementa la motilidad del rumen y la tasa de dilución. Debido a que el presente trabajo se realizó durante el invierno y en corrales al aire libre, es posible que el frio haya ejercido el mismo efecto en todos los novillos.

Debido al incremento en la tasa de dilución, al aumentar el rastrojo de sorgo, el tiempo de recambio se redujo linealmente ($P < 0.06$).

El contenido ruminal de líquidos (Cuadro 5.10), expresado en litros, fue mayor en los niveles de 25 y 30%, este mismo efecto se observó con el liquido libre y el que se encuentra unido a las partículas. Esta mayor cantidad de líquidos ruminales se debe a una mayor actividad de rumia como se discutió anteriormente, porque ésta es afectada positivamente por el consumo de constituyentes de paredes

Cuadro 5.9. Cinética ruminal de líquidos estimada con Co-EDTA (experimento 2)

Variable	% de rastrojo de sorgo (BS ¹)				\bar{X}	EEM ²	Efecto:		
	15	20	25	30			11 ³	12	13
Tasa de dilución, %·h ⁻¹	6.38	7.06	8.45	8.74	7.66	0.89	0.07	0.83	0.66
Tasa de paso, l·h ⁻¹	2.66	3.25	3.11	3.18	3.05	0.36	0.42	0.50	0.58
Volumen ruminal, l	41.52	46.14	37.71	36.74	40.53	5.41	0.38	0.62	0.43
Tiempo de recambio, h	15.95	16.02	12.19	11.50	13.91	1.74	0.06	0.83	0.40

¹BS= base seca.

²EEM= Error estándar de la media.

³11= lineal, 12=cuadrático, 13= cúbico.

celulares (Ho et al., 1983). Los tratamientos no afectaron el peso de los líquidos ruminales ($P>0.05$).

Cuadro 5.10. Contenido ruminal de novillos Brahman (experimento 2)

Variable	% de rastrojo de sorgo (B9 ¹)				\bar{x}	EEM ²
	15	20	25	30		
LT ³ , litros	11.45	13.74	15.75	15.13	14.02	0.31
LT, Kg	14.14	17.79	16.17	16.36	16.11	1.36
LL, litros	8.31	9.75	10.39	9.30	9.44	0.36
LU, litros	3.13	3.99	5.36	5.83	4.58	0.19
Sólidos, kg	1.60	1.83	1.94	2.34	1.93	0.20
MSR, %	11.61	10.41	12.14	14.82	12.25	1.27
RLU:MS	0.28	0.39	0.45	0.42	0.38	0.04

¹BS= base seca.

²EEM= Error estándar de la media.

³LT= líquido total, LL= líquido libre, LU= líquido unido, MSR= materia seca ruminal, RLU:MSR= relación líquido unido:materia seca ruminal.

El contenido ruminal estimado con el indicador fue dos veces más alto que el calculado por evacuación, esto se debió a que se hizo con los animales en ayunas, y no cuatro horas después como lo hicieron Bernal (1989) y Garza (1990b).

Como consecuencia del incremento en la tasa de dilución se reducen las partículas en suspensión, principalmente las más densas, esto incrementa la porción tosca en el rumen y

reduce la densidad de los materiales y los líquidos asociados (Owens y Goetsch, 1984). Por lo tanto, el total de sólidos ruminales se incrementó de acuerdo al nivel de forraje sin afectar el % de MS ruminal.

La concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$, el pH, y los AGV, no se afectaron ($P>0.05$) con el incremento en el nivel de forraje (Cuadro 5.11).

Cuadro 5.11. Nitrógeno amoniacal y fermentación ruminal (experimento 2)

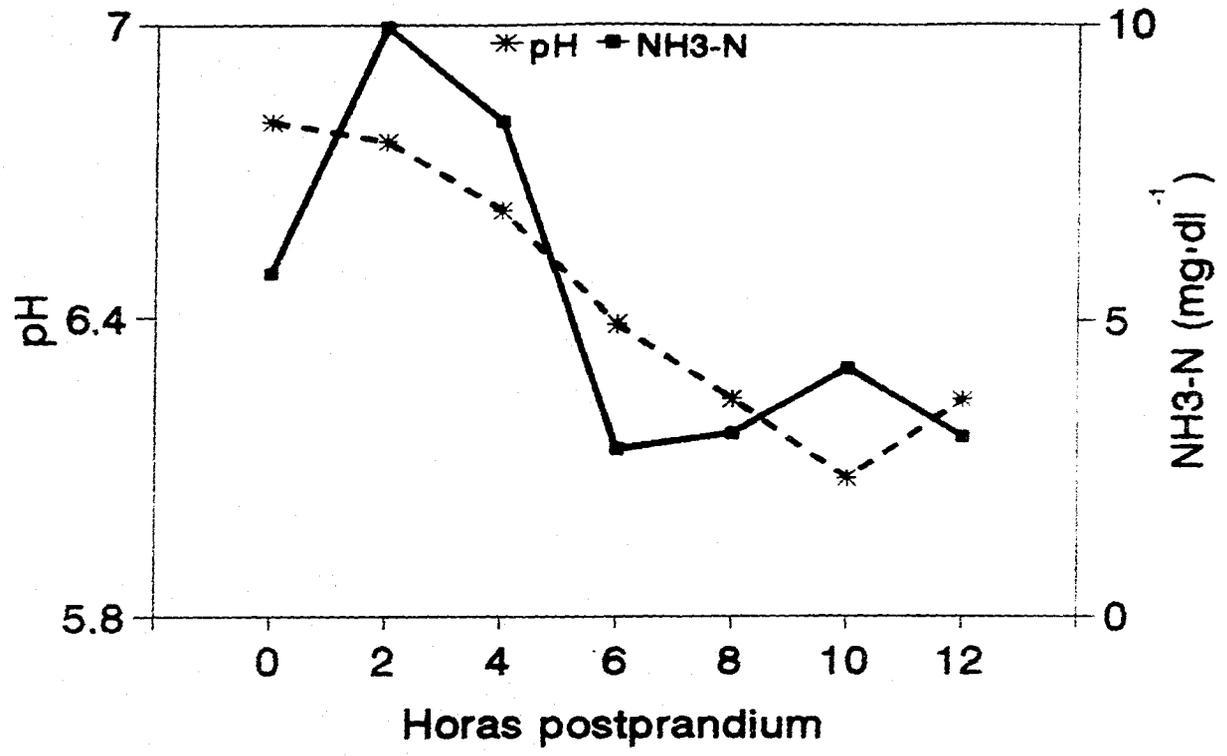
Variable	% de rastrojo de sorgo (BS ¹)				\bar{X}	EEM ²
	15	20	25	30		
$\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$	6.63	4.28	5.35	5.01	5.52	0.43
pH	6.36	6.45	6.42	6.54	6.44	0.03
C_2^3 , $\text{mM}\cdot\text{l}^{-1}$	37.08	35.37	34.01	36.31	35.65	1.47
C_3 , $\text{mM}\cdot\text{l}^{-1}$	10.69	9.33	9.92	9.37	9.83	0.40
C_4 , $\text{mM}\cdot\text{l}^{-1}$	7.28	7.29	7.91	7.24	7.43	0.30

¹BS= base seca.

²EEM= Error estándar de la media.

³C2= Ac. acético, C3= Ac. propiónico, C4= Ac. butírico.

La concentración de amoníaco se incrementó alcanzando su punto de inflexión a las dos horas después de la comida (Gráfica 5.1), manteniéndose sin cambios significativos ($P>0.05$) hasta las cuatro horas. El incremento a las diez horas posiblemente se debió a que durante la tarde los animales consumieron el resto del alimento.



Gráfica 5.1. Cambios en el NH3-N y pH ruminal (experimento 2)

Se asume que la actividad proteolítica (Tamminga, 1979) y celulolítica (Erflé et al., 1982) de las bacterias se mantuvo constante, así como la presencia de protozoarios (Kotarski et al., 1991), porque durante las doce horas postprandiales el menor pH observado fue de 6.08 a las diez horas. Con este pH, el amoníaco no se absorbió pasivamente a través de la pared ruminal para ser reciclado o excretado (Mizwicki et al., 1980).

Cuando se aumenta la tasa de paso de los líquidos, se reduce la cantidad de AGV en el rumen (López et al., 1994), por lo tanto, es posible que la concentración de AGV haya sido reducida en todos los tratamientos por la tasa de paso de los líquidos, que en promedio fue de $3.05 \text{ litros} \cdot \text{h}^{-1}$.

Es conocida la importancia de los AGV como fuentes de energía en los rumiantes: el ácido acético es el precursor de los ácidos grasos de la leche y del tejido adiposo, el propionato es el precursor más importante de glucosa; el butirato es convertido en cuerpos cetónicos en la pared ruminal, e influencia profundamente el metabolismo del piruvato, debido a que provoca una respuesta insulina/glucagon, para mejorar la gluconeogénesis (Annison y Armstrong, 1970). Frecuentemente se reportan relaciones de 65:20:15 para acetato:propionato:butirato, que cambian con la cantidad de carbohidratos fácilmente degradados en el rumen o con altos niveles de consumo, como resultado de la alteración de la tasa de degradación y/o del pH (Tamminga y Van Vuuren, 1988).

La concentración de AGV se redujo durante las primeras cuatro horas postprandiales, y aumentó ($P < 0.05$) hasta las diez horas sin cambiar sus proporciones molares (Cuadro 5.12). Oltjen y Dinius (1976) observaron que las concentraciones de AGV totales, variaron de 58 a 72.3 al incluir urea o pectina, con proporciones de 70.6, 16.0 y 11.8 para ácido acético, propiónico y butírico, respectivamente.

Cuadro 5.12. Cambios postprandium en la composición porcentual de ácidos grasos volátiles (experimento 2)

AGV ¹	Horas postprandium							\bar{X}	EEM ²
	0	2	4	6	8	10	12		
C2	67.14	69.40	68.98	67.81	63.69	66.57	66.56	67.17	2.00
C3	17.26	b 16.02	b 16.66	b 18.80	ab 21.09	a 19.83	a 20.40	a 18.58	1.13
C4	15.59	14.57	14.36	13.39	15.22	13.60	13.04	14.25	0.96
Tot	49.34	46.64	42.40	52.17	53.51	65.98	60.73	52.97	2.48

¹AGV= Ácidos grasos volátiles, C2= Ac. Acético, %, C3= Ac. propiónico, %, C4= Ac. butírico, %; Tot.= Total $\text{mM}\cdot\text{l}^{-1}$.

²EEM= Error estándar de la media.

abc Medias dentro del mismo renglón con distinta literal son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

1. La adición de maíz molido y sorgo rolado en dietas con pollinaza y rastrojo de sorgo, incrementan el consumo de agua .
2. El proceso de rolado de los granos mejora: a) la digestibilidad aparente de la MO, MS y FDN de la dieta, principalmente cuando se adiciona maíz; b) las tasa de dilución y de paso, principalmente cuando se adiciona sorgo rolado, y c) la MO potencialmente digestible y la tasa de digestión de los granos
3. El proceso de rolado de los granos reduce la concentración de amoniaco en el líquido ruminal.
4. El incremento del nivel de forraje en la dieta no altera el consumo de agua.
5. Con excepción de la FDN y FDA, la digestibilidad aparente de los demás componentes químicos de la dieta se redujeron linealmente con el nivel de forraje.
6. La tasa de dilución, así como la MO, FDN, FDA y hemicelulosa potencialmente digestibles del rastrojo de sorgo, se incrementan linealmente de acuerdo con su nivel en la dieta.
7. El total de sólidos ruminales se incrementó de acuerdo al nivel de forraje en la dieta, sin afectar el % de materia seca ruminal.
8. El nivel de forraje no afectó la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$, el pH y los AGV.

IMPLICACIONES

En dietas con pollinaza y forraje, es posible controlar el consumo del agua en los animales, mediante el procesamiento de los granos. El proceso de rolado en los granos, mejora las condiciones de fermentación y digestión ruminal y total, así como la tasa de dilución del fluido ruminal. Este último parámetro fue mayor con el sorgo rolado y puede mejorar la eficiencia de síntesis bacteriana en el rumen, o bien, como es menos degradado en el rumen, contiene mas cantidad de nutrimentos que son absorbidos en duodeno. En el segundo experimento, el incremento de forraje en las dietas aumentó las tasas de dilución y disminuyó el tiempo de recambio en forma lineal, sin afectar la tasa de paso, y no se apreciaron diferencias en el consumo de agua, el contenido y la fermentación ruminal; así como en la digestibilidad ruminal de la MO, ni las fracciones de fibra. A pesar de ésto no es conveniente aumentar más allá del 20% el nivel de forraje, debido a que la digestibilidad aparente de la dieta se reduce linealmente. Sin embargo, es necesario evaluar en estas dietas la tasa de paso de los sólidos ruminales para poder estimar la degradabilidad efectiva en el rumen, así como la producción de la proteína microbiana para obtener una mejor apreciación de los límites de las tasas de dilución y de paso.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

REFERENCIAS

- Agricultural and Food Research Council (AFRC) (1992).
Agricultural and Food Research Council: Technical
Committee on responses to nutrients: Nutritive
requirements of ruminant animals: protein. Nutrition
Abstracts and Reviews (Series B) (Report No. 9) 65-71.
- Aguirre, O. E. 1979. Effect of fermentation of corn grain on
digestion by ruminants full fed high concentrate
diets. Ph. D. Thesis. Oklahoma State University. 127.
- Akin, D. E. 1984. Microbial breakdown of feed in the
digestive tract. 201-223. In: Hacker, J. B.
Nutritional limits to animal production from pastures.
Proceedings of an international symposium held at St.
Lucia, Queensland Australia, august 24th-28th 1981.
(reprinted) CAB London 536.
- Akin, D. E. 1989. Histological and physical factors
affecting digestibility of forages. *Agron. J.* 81:17.
- Akin, D. E. and W. S. Borneman. 1990. Role of rumen fungi on
fiber degradation. *J. Dairy Sci.* 73:3023.
- Akin, D. E. and D. Burdick. 1981. Relationship of different
histochemical types of lignified cell walls to forage
digestibility. *Crop Science* 21:527.
- Annison, E. F. and D. G. Armstrong. 1970. Volatile fatty
acid metabolism. 422-437. In: Phillipson, A. T. (Ed.)
Proceedings of the third international symposium.
Oriel Press. Newcastle upon Tyne, England. 636.
- Argyle, J. L. and L. R. Baldwin. 1989. Effects of amino acid
and peptides on microbial growth yields. *J. Dairy Sci.*
72:2017.
- Baldwin, R. L. and M. J. Allison. 1983. Rumen metabolism. *J.*
Anim. Sci. 57:461.
- Bartley, E. E. and C. W. Deyoe. 1977. Reducing the rate of
ammonia release by the use of alternative non-protein
nitrogen sources. 50-65. In: Harresing, W. and Lewis,
D. (Ed.) Recent advances in animal nutrition.
Butterworths London- Boston. 206.
- Basurto, G. R. 1995. Dinámica y digestión ruminal de bovinos
de carne alimentados con dietas a base de grano de
maíz y pollinaza. Tesis Maestría. FESC-UNAM Cuautitlán
de Izcalli, Edo. de México. 75.

- Basurto, G. R. y J. D. Garza. 1993. Efecto de la adición de grasa o proteína a dietas a base de maíz-sorgo para ganado en finalización. XVII Congreso Nacional de Buiatría.
- Beauchemin, K. A. 1992. Effects of ingestive and ruminative mastication on digestion of forage by cattle. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 40:41.
- Beauchemin, K. A., T. A. McAllister, Y. Dong, B. I. Farr, and K. J. Cheng, 1994. Effects of mastication on digestion of whole cereal grains by cattle. *J. Anim. Sci.* 72:236.
- Bergen, W. G. and T. M. Yokoyama. 1977. Productive limits to rumen fermentation. *J. Anim. Sci.* 45:573.
- Bernal, S. M. G. 1989. Dynamics of rumen turnover in cows at various stages of lactation. Ph. D. Thesis. Cornell University. 185.
- Bhattacharya, A. N. and J. C. Taylor. 1975. Recycling animal waste as a feedstuff: A review. *J. Anim. Sci.* 41:1438.
- Bowman, J. G. P. and J. L. Firkins. 1993. Effects of forage and particle size on bacterial cellulolytic activity and colonization in situ. *J. Anim. Sci.* 71:1623.
- Broderick, G. A. 1978. In vitro procedures for estimating rates of ruminal protein degradation and proportions of protein escaping the rumen undegraded. *J. Nutr.* 108:181.
- Broderick, G. A. and J. H. Kang. 1980. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and *in vitro* media. *J. Dairy Sci.* 63:64.
- Broderick, G. A., J. R. Wallace and E. R. Orskov. 1991. Control of rate and extent of protein degradation. 541-591. In: Tsuda, J., Sasaki and R. Kawashima (Eds.) *Proceedings of the seventh International Symposium on ruminant physiology.* Academy press. Inc. San Diego, California. U.S.A. 779.
- Bryant, M. P. 1979. Microbial methane production -Theoretical aspects. *J. Anim. Sci.* 48:193.
- Bryant, M. P. and M. I. Robinson. 1963. Apparent incorporation of ammonia and amino acid carbon during growth of selected species of rumen bacteria. *J. Dairy Sci.* 46:150.

- Buchanan-Smith, J. G., R. Totusek and A. D. Tillman. 1968. Effect of methods of processing on digestibility and utilization of grain sorghum by cattle and sheep. *J. Anim. Sci.* 27:525.
- Buttery, P. J. 1977. Aspects of the biochemistry of rumen fermentation and their implication in ruminant productivity. 8-23. In: Harresign, W. and Lewis, D. (Eds.) Recent advances in animal nutrition. Butterworths London-Boston. 206.
- Carey, D. A., J. S. Caton and M. Biondini. 1993. Influence of energy source on forage intake, digestibility, in situ forage degradation, and ruminal fermentation in beef steers fed medium-quality brome hay. *J. Anim. Sci.* 71:2260.
- Caswell, L. F., J. P. Fontenot and J. K. E. Webb. 1975. Effect of processing method on pasteurization and nitrogen components of broiler litter and on nitrogen utilization by sheep. *J. Anim. Sci.* 40:750.
- Cecava, M. J., R. N. Merchen, L. L. Berger and C. G. Fahey Jr. 1988. Effects of dietary energy level and protein source on site of digestion and duodenal nitrogen and amino acid flows in steers. *J. Anim. Sci.* 66:961.
- Cecava, M. J., R. N. Merchen, L. L. Berger, R. I. Mackie and C. G. Fahey, Jr. 1991. Effects of dietary energy level and protein source on nutrient digestion and ruminal nitrogen metabolism in steers. *J. Anim. Sci.* 69:2230.
- Cheng, K. J., W. C. Forsberg, H. Minato and W. J. Costerton. 1991. Microbial ecology and physiology of feed degradation within the rumen. 595-624. In: Tsuda, J., Sasaki and R. Kawashima (Eds.) Proceedings of the seventh International Symposium on ruminant physiology. Academy press. Inc. San Diego, California. U.S.A. 779.
- Cheng, K. J., T. J. Huber, B. C. Theurer, R. S. Swingle, J. Simas, C. S. Chan, Z. Wu and J. L. Sullivan. 1994. Effect of steam flaking of corn and sorghum grains on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 77:1038.
- Cooke, J. A. and J. P. Fontenot. 1990. Utilization of phosphorus and other minerals from swine waste and broiler litter. *J. Anim. Sci.* 68:2852.
- Cole, N. A., R. R. Johnson and F. N. Owens 1976a. Influence of roughage level on the site and extent of digestion of whole shelled corn by beef steers. *J. Anim. Sci.* 43:483.

- Cole, N. A., R. R. Johnson, F. N. Owens and J. R. Males. 1976b. Influence of roughage level and corn processing method on microbial protein synthesis beef steers. *J. Anim. Sci.* 43:197.
- Coleman, G. S. 1985. The cellulase content of 15 species of Entodiniomorphid protozoa, mixed bacteria, and plant debris isolated from ovine rumen. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 104:349.
- Coleman, G. S. and D. C. Sandford. 1979. The engulfment and digestion of mixed rumen bacteria and individual bacterial species by single and mixed species of rumen ciliate protozoa grown *in vivo*. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 92:729.
- Colucci, P. E. 1984. Comparative Digestion and digesta kinetics. Ph. D. Thesis The university of Guelph. 231.
- Cotta, M. A. and J. B. Russell. 1982. Effect of peptides and amino acids on efficiency of rumen bacterial protein synthesis in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 65:226.
- Croom, Jr. W. J., L. S. Bull and I. L. Taylor. 1992. Regulation of pancreatic exocrine secretion in ruminants: A review. *J. Nutr.* 122:191.
- Cross, H. H., L. W. Smith, J. V. DeBarth. 1974. Rates of *in vitro* forage fiber digestion as influenced by chemical treatment. *J. Anim. Sci.* 39:808.
- Cuarón, J. A., J. E. Espinoza, A. S. Shimada y L. Martínez. 1978. Engorda de rumiantes en el altiplano con el uso de gallinaza y esquilmos agrícolas. *Vet. México.* 9:149.
- Czerkawski, J. W. 1986. An introduction to rumen studies. Pergamon Press. Great Britain. 236.
- Dehority, B. A. and H. W. Scott. 1967. Extent of cellulose and hemicellulose digestion in various forages by pure cultures of rumen bacteria. *J. Dairy Sci.* 50:1136.
- Dhanoa, M. S. 1988. On the analysis of dacron bag data for low degradability feeds. *Grass and Forage Sci.* 43:441.
- Dhanoa, M. S., J. France, R. Siddons, S. López and J. G. Buchanan-Smith. 1995. A non-linear compartmental model to describe forage degradation kinetics during incubation in polyester bags in the rumen. *Br. J. Nutr.* 73:3.

- Emmanuele, S. M. and C. R. Staples. 1994. Influence of pH and rapidly fermentable carbohydrate on mineral release in and from the rumen. *J. Dairy Sci.* 77:2382.
- El-Sabban, J. W., T. A. Brazler, D. E. Long, H. Frear and R. F. Gentry. 1970. Value of processed poultry waste as a feed for ruminants. *J. Anim. Sci.* 31:107.
- Erdman, R. A. 1988. Dietary buffering requirements of the lactating dairy cow: a review. *J. Dairy Sci.* 71:3246.
- Erfle, J. D., R. J. Boila, R. M. Teather, S. Mahadevan and F. D. Sauer. 1982. Effect of pH on fermentation characteristics and protein degradation by rumen microorganisms in vitro. *J. Dairy Sci.* 65:1457.
- Esdale, W. J. and L. D. Satter 1971. Manipulation of ruminal fermentation. IV. Effect of altering ruminal pH on volatile fatty acid production. *J. Dairy Sci.* 55:964.
- Ewing, D. L., D. E. Johnson and W. V. Rumpler. 1986. Corn particle passage and size reduction in the rumen of beef steers. *J. Anim. Sci.* 63:1509.
- Federer, W. T. 1955. Experimental design. Theory and application. Oxford & IBH Publishing Co. New Delhi. 544.
- Fenton, T. W. and M. Fenton. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. *Can. J. Anim. Sci.* 59:631.
- Flores, B. M., M. Barrón y J. D. Garza. 1995. Patrones de producción de nitrógeno amoniacal y pH en el líquido ruminal de novillos Brahman alimentados con pollinaza empastillada y sin empastillar. 201. En: Memorias del VII Congreso nacional AMENA. 222.
- Fontenot, J. P. 1991. Recycling animal wastes by feeding to enhance environmental quality. *The professional Animal Scientist* 7:1.
- Fontenot, J. P., K. E. Webb, Jr. 1975. Health aspects of recycling animal wastes by feeding. *J. Anim. Sci.* 40:1297.
- Fontenot, J. P., L. W. Smith and A. L. Sutton. 1983. Alternative utilization of animal wastes. *J. Anim. Sci.* 57:221 (suppl. 2).
- Fontenot, J. P., A. N. Bhattacharya, C. L. Dracke and W. H. McClure. 1966. Value of broiler litter as feed for ruminants. *Proc. Natl. Sym. on Anim. Waste Management.* ASAE Pub. SP-0366:105.

- Fontenot, J. P., L. F. Caswell, B. W. Harmon and K. E. Webb Jr. 1975. Ensiling broiler litter with corn forage, corn grain and water. Proc. 3rd. Int. Symp. on Livestock Wastes. ASAE St. Joseph MI.
- Fontenot, J. P., K. E. Webb, Jr., K. G. Libke and R. J. Buehler. 1971. Performance and health of ewes fed broiler litter. J. Anim. Sci. 33:283 (Abstr.).
- Fontenot, J. P., K. E. Webb, Jr., R. E. Harmon, R. E. Tucker and W. E. C. Moore. 1971. Studies of processing nutritional value and palatability of broiler litter for ruminants. Am. Soc. Agr. Eng. Publ. PROC-271: 301.
- Fonty, G. and K. N. Joblin. 1991. Rumen anaerobic fungi: their role and interactions with other rumen microorganisms in relation to fiber digestion. 655-680. In: Tsuda, J., Sasaki and R. Kawashima (Eds.) Proceedings of the seventh International Symposium on ruminant physiology. Academy press. Inc. San Diego, California. U.S.A. 779.
- Franklin, K. K. J. E. Winch and G. K. McLeod. 1981. The effect of concentrate on the digestion of bromegrass constituents. Can. J. Anim. Sci. 61:935.
- French, D. 1973. Chemical and properties of starch. J. Anim. Sci. 37:1048.
- Galyean, M. 1984. Techniques and procedures in animal nutrition research. Department of Animal and Range Science. New Mexico State University. 176.
- Galyean, M. L., D. G. Wagner and R. R. Johnson. 1976. Site and extent of starch digestion in steers fed processed corn rations. J. Anim. Sci. 43:1088.
- Galyean, M. L., D. G. Wagner and F. N. Owens. 1979. Corn particle size and site and extent of digestion by steers. J. Anim. Sci. 49:204.
- Garza, F. J. D. 1990a. Técnicas para realizar la fistulación y canulación del esófago y del rumen. p. 231 - 242. En: Castellanos, R. A., Llamas, L. G. y Shimada A. S. (Ed.) 1990. Manual de técnicas de investigación en rumiología. Sistemas de educación continua en producción animal en México, A. C. México D. F. 267.
- Garza, F. J. D. 1990b. Water kinetics in the rumen of beef cattle. Ph. D. thesis. Oklahoma State University. Oklahoma, USA. 168.

- Garza, J. D. and F. N. Owens. 1990. Effect of monensin and lasalocid on water intake, rumen volume, liquid passage rate and ruminal dry matter in feedlot heifers. Okla. Agr. Exp. Sta. Res. Rep. MP-129:109.
- Garza, J. D., F. N. Owens, S. Welty and J. Summers. 1992. Frequency of urea dosing for beef steers fed low protein hay. Okla. Agr. Exp. Sta. Res. Rep. MP-136:271.
- Gerken, Jr. J. 1990. Feeding broiler litter to cattle and sheep. Beef Science Technology. Publication 400-754. Virginia Cooperative Extension.
- Givens, D. I. and A. R. Moss. 1995. The nutritional value of cereal straw for ruminants - A review. Nutrition Abstracts and Reviews (Series B). 65:793.
- Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1985. Analysis of forages and fibrous foods. A laboratory manual for animal science 613. Cornell University.
- Goetsch, A. L., F. N. Owens, C. E. Kautz and K. W. Milliner. 1983. Effect of ruminal pH alteration on digestion in steers fed a high concentrate diet. Okla. Agr. Exp. Sta. Res. Rep. MP-114:10.
- Guiragossian, V., B. A. K. Chibber, S. Van Scoyoc, R. Jambunathan, E. T. Mertz and J. D. Axtell. 1978. Characteristics of proteins from normal, high lysine and high tannin sorghums. J. Agr. Food Chem. 26:219.
- Harbers, L. H. and M. L. Thouvenelle. 1980. Digestion of corn and sorghum silage observed by scanning electron microscopy. J. Anim. Sci. 50:514.
- Harmon, D. L. 1992. Dietary influences on carbohydrases and small intestinal starch hydrolysis capacity in ruminants. J. Nutr. 122:203.
- Harmon, D. L. 1993. Nutritional regulation of postruminal digestive enzymes in ruminants. J. Dairy Sci. 76:2102.
- Harmon, B. W., J. P. Fontenot and K. E. Webb Jr. 1974. Effect of processing method of broiler litter on nitrogen utilization by lambs. J. Anim. Sci. 39:942.
- Hibberd, C. A., D. G. Wagner, R. L. Schemm, E. D. Mitchell Jr. R. L. Hintz and D. E. Weibel. 1982a. Nutritive characteristics of different varieties of sorghum and corn grains. J. Anim. Sci. 55:665.

- Hibberd, C. A., D. G. Wagner, R. L. Schemm, E. D. Mitchell, Jr. D. E. Weibel and R. L. Hintz. 1982b. Digestibility characteristics of isolated starch from sorghum and corn grain. *J. Anim. Sci.* 55:1490.
- Hicks, R. B., F. N. Owens, D. R. Gill, J. W. Oltjen and R. P. Lake. 1990. Dry matter intake by feedlot beef steers: Influence of initial weight, time on feed and season of year received in yard. *J. Anim. Sci.* 68:254.
- Ho, B. D., J. G. Welch and B. E. Gilman. 1983. Mastication and rumination in relation to body size of cattle. *J. Dairy Sci.* 66:2137.
- Ho, Y. W., N. Abdullah and S. Jalaludin. 1988. Penetrating structures of anaerobic rumen fungi in cattle and swamp buffalo. *J. Gen. Microbiol.* 134:177.
- Hobson, P. N. 1972. Physiological characteristics of rumen microbes and relation to diet and fermentation patterns. *Proc. Nutr. Soc.* 31:135.
- Hoover, W. H. 1986. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *J. Dairy Sci.* 69:2755.
- Huitrón, M. G. y J. M. Zorrilla. 1980. El uso de la pollinaza en la engorda de bovinos en corral como principal fuente de energía y proteína. Memorias del primer día del ganadero CEP Vaquerías, CIPEJ-INIP-SARH, Ojuelos, Jal. Méx.
- Huntington, G. B. 1994. Ruminant starch utilization progress has been extensive. *Feedstuffs.* 66(23):16.
- Huntington, J. A. and D. I. Givens. 1995. The *in situ* technique for studying the rumen degradation of feeds: a review of the procedure. *Nutrition Abstracts and Reviews (series B)* 65:63.
- Janes, A. N., T. E. C. Weekes and D. G. Armstrong. 1985a. Absorption and metabolism of glucose by mesenteric-grained viscera of sheep fed on dried grass or ground, maize-based diets. *Br. J. Nutr.* 54:449.
- Janes, A. N., T. E. C. Weekes and D. G. Armstrong 1985b. Insulin action and glucose metabolism in sheep on a dried-grass or ground maize based diet. *Br. J. Nutr.* 54:459.

- Kato, S., K. Katoh and W. Barej. 1991. Regulation of exocrine pancreatic secretion in ruminants. 89-109. In: Tsuda, J., Sasaki and R. Kawashima (Eds.) Proceedings of the seventh International Symposium on ruminant physiology. Academy press. Inc. San Diego, California. U.S.A. 779.
- Keys, J. E. and L. W. Smith. 1981. Effect of poultry excreta and ground ear corn on growth, intake, and digestion of corn stover silage diets by yearling dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 64:140.
- Kolattukudy, P. E. 1980. Biopolymer membranes of plants: cutin and suberin. *Science* 208:990.
- Kotarski, F. S., R. D. Waniska and K. K. Thurn. 1991. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *J. Nutr.* 122:178.
- Kreikemeier, K. K., D. L. Harmon, R. T. Brandt, Jr., T. G. Nagaraja and R. C. Cochran. 1990. Steam-rolled wheat diets for finishing cattle: Effects of dietary roughage and feed intake on finishing steer performance and ruminal metabolism. *J. Anim. Sci.* 68:2130.
- Kudo, H., K. J. Cheng and J. W. Costerton. 1987. Electron microscopic study of the methylcellulose-mediated detachment of cellulolytic bacteria from cellulose fibers. *Can. J. Microbiol.* 33:267.
- Kurihara, Y., T. Takechi and F. Shibata. 1978. Relationship between bacteria and ciliate protozoa in the rumen of sheep fed on a purified diet. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 90:373.
- Lee, R. W., L. M. Galyean and G. P. Lofgreen. 1982. Effects of mixing whole shelled and steam flaked corn in finishing diets on feedlot performance and site and extent of digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 55:475.
- López, B. Y. S., F. D. Deb Hovell and N. A. MacLeod. 1994. Osmotic pressure, water kinetics and volatile fatty acid absorption in the rumen of sheep sustained by intragastric infusions. *Br. J. Nutr.* 71:153.
- MacRae, J. C. and D. G. Armstrong. 1969. Studies on intestinal digestion in sheep. 2. Digestion of some carbohydrate constituents in hay, cereal and hay-cereal rations. *Br. J. Nutr.* 23:377.

- Magaña, C. A. y G. F. Rodríguez. 1986. Respuesta a tres niveles de inclusión de melaza en toretes de engorda en corral utilizando dietas con pollinaza. *Tec. Pec. Méx.* 24:14.
- Magaña, C. A. y G. F. Rodríguez. 1988. Efecto de la sustitución parcial de pollinaza por harina de carne y hueso en dietas para toretes en engorada en corral. *Tec. Pec. Méx.* 26:148.
- Magaña, C. A. y G. F. Rodríguez. 1991. Engorda de bovinos en corral sin la utilización de granos. 1. Suplementación de pollinaza y melaza a toretes alimentados con cañuela de maíz ensilada. *Tec. Pec. Méx.* 29:101.
- Mackie, R. I. and B. A. White. 1990. Symposium: rumen microbial ecology. Recent advances in rumen microbial ecology and metabolism: potential impact on nutrient output. *J. Dairy Sci.* 73:2971.
- Manners, D. J. 1985. Some aspects of the structure of starch. *Cereal Foods World* 30:461.
- Maynard, L. A., J. K. Loosli, H. F. Hintz and R. G. Warner. 1989. *Nutrición animal*. 4a. edición en español. Trad. por: Ortega, S. A. McGraw-Hill México, D.F. 640.
- McAllister, T. A., L. M. Rode and K. J. Cheng. 1990. Morphological study of the digestion of barley and corn by rumen microorganisms. *Anim. Feed Sci. Technol.* 30:91.
- McAllister, T. A., H. D. Bae, G. A. Jones and K. J. Cheng. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *J. Anim. Sci.* 72:3004.
- McCullough, M. W. and J. K. Matsushima. 1973. Effect of corn processing on starch digestibility. *J. Anim. Sci.* 37:350 (Abstr.)
- McDonald, E. I. 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in rumen. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 96, 251-252.
- McNeil, M., A. G. Darvill, S. C. Fry. and P. Albersheim. 1984. Structure and function of the primary cell walls of plants. *Ann. Rev. Biochem.* 53:625.
- Meherez, A. Z., E. R. Orskov and I. McDonald. 1977. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *Brit. J. Nutr.* 34:437.

- Mehrez, A. Z. and E. R. Orskov. 1977. The use of a dacron bag technique to determine rate of protein and energy in the rumen. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 93:645.
- Mendoza, M. G. D., R. J. Alanis y V. R. Ricalde. 1995. Modelos matemáticos que describen la tasa de digestión del almidón. *Vet. Méx. Memorias Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Suplemento 2.* 26:283.
- Merchen, N. R. 1988. Digestion, absorption and excretion in ruminants. 172 - 201. In Church, D. C. (1988) *The ruminant animal digestive physiology and nutrition.* O&B Books, Inc. New Jersey USA. 564.
- Merchen, N. R. and E. C. Titgemeyer. 1992. Manipulation of amino acid supply to the growing ruminant. *J. Anim. Sci.* 70:3238.
- Mertens, D. R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *J. Anim. Sci.* 64:1548.
- Mertens, D. R. and L. O. Ely 1982. Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization. A dynamic model evaluation. *J. Anim. Sci.* 49:1085.
- Mertens, D. R. and J. R. Loften. 1980. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics in vitro. *J. Dairy Sci.* 63:1437.
- Mizwicki, K. L., F. N. Owens, K. Poling and G. Burnett. 1980. Timed ammonia release for steers. *J. Anim. Sci.* 51:698.
- Moguel, O. Y., C. J. G. Cantón, D. E. Seuri y R. A. F. Castellanos. 1995. Contenido de algunos macro y microminerales en las deyecciones avícolas en Yucatan. *Tec. Pec. Méx.* 33:100.
- Monson, W. G., J. B. Powell and G. W. Burton. 1972. Digestion of fresh forage in rumen fluid. *Agron. J.* 64:231.
- Murphy, M. R., C. L. Davis and G. C. Mc Coy. 1983. Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 66:35.
- National Research Council (NRC) 1985. Ruminant nitrogen usage. National Academy of Science, Washington, D. C. 138.
- Neville, A. C. 1988. A pipe-cleaner molecular model for morphogenesis of helicoidal plant cell walls based on hemicellulose complexity. *J. Theor. Biol.* 131:243.

- Nocek, J. E. and J. E. English. 1985. *In situ* degradation kinetics: evaluation of rate determination procedure. *J. Dairy Sci.* 69:87.
- Noland, P. R., B. F. Ford and M. L. Ray. 1955. The use of ground chicken litter as a source of nitrogen for gestating-lactating ewes and fattening steers. *J. Anim. Sci.* 14:860.
- Oltjen, R. R. and D. A. Dinius. 1976. Processed poultry waste compared with uric acid sodium urate, urea and biuret as nitrogen supplements for beef cattle fed forage diets. *J. Anim. Sci.* 43:201.
- Orskov, E. R. 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1624.
- Orskov, E. R. 1988. *Nutrición proteica de los rumiantes*. Trad. por Zorrilla, R. J. y Sanz, A. R. ACRIBIA, S. A. Zaragoza, España. 178.
- Orskov, E. R. and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurement weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 92:449.
- Orskov, E. R. and M. Ryle. 1990. *Energy nutrition in ruminants*. Elsevier Science Publisher Ltd. London, England. 149.
- Orskov, E. R., F. D. DeB Hovell y F. Mould. 1980. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de los novillos. *Prod. Anim. Trop.* 5:213-233.
- Owens, F. N. 1987. New techniques for studying digestion and absorption of nutrients by ruminants. *Federation Proc.* 46:109.
- Owens, F. N. and W. G. Bergen. 1983. Nitrogen metabolism of ruminant animals: Historical perspective, current understanding and future implications. *J. Anim. Sci.* 57(Suppl. 2):498.
- Owens, F. N. and A. L. Goetsch. 1984. Digesta passage and protein synthesis 196-223 In: Milligan, L. P., W. L. Grovum and A. Dobson. (Eds.) *Control of digestion and metabolism in ruminants*. Proceedings of the sixth international symposium on ruminants. A reston book Prentice-Hall. New Jersey. USA. 567.
- Owens, F. N., A. L. Goetsch. 1988. Ruminal fermentation. 145-171 In: Church, D. C. (Ed.) *The ruminant animal, digestive physiology and nutrition*. Prentice Hall. New Jersey USA. 564.

- Owens, F. N. and D. Secrist. 1994. Grain sources and processing for feedlot cattle. 78-79 En: Memoria del seminario internacional: "Producción de carne bovina en corrales". Puebla, Pue. Méx.
- Owens, F. N., K. S. Lusby, K. L. Mizwicki and O. Forero. 1980. Slow ammonia release from urea: rumen and metabolism studies. *J. Anim. Sci.* 50:527.
- Owens, F. N., R. A. Zinn and Y. K. Kim. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J. Anim. Sci.* 63:1634.
- Pearce, G. R. 1979. Quality aspects of livestock wastes in relation to their utilization 223-235. In: *Agricultural wastes*. Applied Science Publishers Ltd, England. Great Britain.
- Preston, T. R. y R. A. Leng. 1989. Adecuando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles: aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico. CONDRIE Ltda. Cali, Colombia. 312.
- Prigge, E. C., M. L. Galyean, F. N. Owens, D. G. Wagner and R. R. Johnson. 1978. Microbial protein synthesis in steers fed processed corn rations. *J. Anim. Sci.* 46:249.
- Ramirez, V. F. J. y G. F. Rodriguez. 1988. Características químico nutricionales de ensilajes de rastrojo de maíz con excretas animales. *Téc. Pec. Méx.* 26:86.
- Rivera, U. P. y J. D. Garza, F. 1995. Comportamiento productivo de toretes Brahman alimentados con sorgo, pollinaza y niveles crecientes de harina de carne. 198. En: *Memorias del VII Congreso nacional AMENA*. 222.
- Romagnolo, D., C. E. Polan and W. E. Barbeau. 1994. Electrophoretic Analysis of ruminal degradability of corn proteins. *J. Dairy Sci.* 77:1093.
- Rook, J. A. F. y P. C. Thomas. 1989. Fisiología de la nutrición de los animales domésticos. Trad. del inglés por: Sixto A. M. P. CECSA México, D. F. 752.
- Rooney, L. W. and R. L. Pflugfelder. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* 63:1607.
- Rooney, L. W. 1995. Sorgo en hojuelas al vapor. *Feed&Grain*. 3:5.

- Satter, L. D. y R. R. Roffler. 1977. Requerimiento protéico y utilización de nitrógeno no protéico. *Prod. Anim. Trop.* 2:248.
- Sequeira, C. A. and J. C. Sequeira. 1993. Bacterial adhesion to fibre during *in vitro* incubations under varying osmotic pressure. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 41:65.
- Sinclair, L. A., P. C. Garnsworthy, J. R. Newbold and P. J. Buttery. 1993. Effect of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 120:251.
- Smith, S. C., J. G. Britton, J. D. Enis, K. C. Barnes, K. S. Lousy. 1993. Mineral levels of broiler house litter and forages and soils fertilized with litter. *Anim. Sci. Research Report.* 153.
- Smith, L. W. and C. C. Calvert. 1976. Dehydrated broiler excreta versus soybean meal as nitrogen supplements for sheep. *J. Anim. Sci.* 43:1286.
- Smith, L. W. and W. E. Wheeler. 1979. Nutritional and economic value of animal excreta. *J. Anim. Sci.* 48:144.
- Smith, L. W., H. K. Goering, D. R. Waldo and H. Gordon. 1971. *In vitro* digestion rate of forage cell wall components. *J. Dairy Sci.* 54:71.
- Soria, R. J., R. Avendaño y A. C. Ortiz. 1970. Levantamiento fisiográfico del estado de Querétaro. CIFAP-Guanajuato, INIFAP-SARH. México.
- Statistical Analysis System (SAS). 1988. SAS User's guide: basics and Statistics. SAS Institute, Cary, N. Y.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1981. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 2a. ed. Singapore McGraw-Hill International Book Co. 633.
- Stock, R. A., M. H. Sindt, J. C. Parrott and F. K. Goedeken. 1990. Effects of grain type, roughage level and monensin level on finishing cattle performance. *J. Anim. Sci.* 68:3441.
- Stock, R. A., D. R. Brink, R. T. Brandt, J. K. Merrill and K. K. Smith. 1987. feeding combinations of high moisture corn and dry corn to finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 65:282.

- Swingle, R. S. and L. B. Waymack. 1977. Digestibility by steers of grain sorghum stover and wheat straw supplemented with NPN. *J. Anim. Sci.* 44:112.
- Swingle, R. S., A. Araiza and A. R. Urias. 1977. Nitrogen utilization by lambs fed wheat straw alone or with supplements containing dried poultry waste, cottonseed meal or urea. *J. Anim. Sci.* 45:1435.
- Tamminga, S. 1979. Protein degradation in the forestomachs of ruminants. *J. Anim. Sci.* 49:1615.
- Tamminga, S. and A. M. Van Vuuren. 1988. Formation and utilization of products of lignocellulose degradation in ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 21:141.
- Taniguchi, K. G., G. Huntington, B. Blenn and R. Erdman. 1992. Energy metabolism in beef steers fed alfalfa hay and given ruminal (R) or abomasal (A) infusions of corn starch (S) and casein (C). *J. Anim. Sci.* 70(Suppl.1):316.
- Tejada, H. I. 1992. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. Sistema de educación continúa en producción animal A. C. México D. F. 397.
- Theurer, C. B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1649.
- Theurer, C. B. 1992. Starch digestion: understanding and potential for improvement-introduction. *J. Nutr.* 122:170.
- Turgeon, O. A., Jr., D. R. Brink and R. A. Britton. 1983. Corn particle size mixtures, roughage level and starch utilization in finishing steer diets. *J. Anim. Sci.* 57:739.
- Uden, P., P. E. Coluccii, and P. J. Van Soest 1980. Investigation of chromium, cerium and cobalt as marker in digesta rate of passage studies. *J. Sci. Food Agric.* 31:625.
- Van Soest, P. J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant O & B Books, Corvallis, Oregon. 374.
- Varga, G. A. and W. H. Hoover. 1983. Rate and extent of neutral detergent fiber degradation of feedstuffs in situ. *J. Dairy Sci.* 66:2109.
- Varga, G. A., L. L. Slyter, L. W. Smith and E. C. Leffel. 1981. Utilization of urea, uric acid and caged layer waste by ruminal microorganisms continuously cultured in vitro. *J. Anim. Sci.* 53:1581.

- Waldo, D. R., Jr. J. E. Keys and C. H. Gordon. 1971. Corn starch in the bovine. *J. Anim. Sci.* 33:304. (Abstr.).
- Waldo, D. R., L. W. Smith and E. L. Cox. 1972. Model of cellulose disappearance from the rumen. *J. Dairy Sci.* 55:125.
- Waldo D. R. 1973. Extent and partition of cereal grain starch digestion in ruminants. *J. Anim. Sci.* 37:1062.
- Wallnofer, P., R. L. Baldwin and E. Stagno. 1966. Conversion of C¹⁴-labeled substrates to volatile fatty acids by the rumen. *Appl. Microbiol.* 14:1004.
- Weakley, D. C. 1983. Influence of roughage level, ruminal pH and ammonia concentration on ruminal protein degradation and microbial protein synthesis in cattle. Ph. D. thesis Oklahoma State University. 150.
- Wedig, C. L., E. H. Jaster and K. J. Moore. 1986. Composition and digestibility of alfalfa and orchardgrass hemicellulose monosaccharides by Holstein steers. *J. Dairy Sci.* 69:1309.
- Webb, Jr. K. E. and J. P. Fontenot. 1975. Medical drug residues in broiler litter and tissues from cattle fed litter. *J. Anim. Sci.* 41:1212.
- Weekes, T. E. C. 1991. Hormonal control of glucose metabolism 183-199. In: Tsuda, J., Sasaki and R. Kawashima (Eds.) *Proceedings of the seventh International Symposium on ruminant physiology.* Academy press. Inc. San Diego, California. U.S.A. 779.
- Weiss, W. P., G. R. Fisher and G. M. Erickson. 1989. Effect of source of neutral detergent fiber and starch on nutrient utilization by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:2308.
- Westing, T. W., J. P. Fontenot, W. H. McClure, R. F. Kelly and Jr. K. E. Webb. 1985. Characterization of mineral element profiles in animal waste and tissues from cattle fed animal waste. 1. Heifers fed broiler litter. *J. Anim. Sci.* 61:670.
- Wheeler, W. E., D. A. Dinius and J. B. Coombe. 1979. Digestibility, rate of digestion and ruminoreticulum parameters of beef steers fed low-quality roughages. *J. Anim. Sci.* 49:1357.
- Winchester, C. F. and J. M. Morris. 1956. Water intake rates of cattle. *J. Anim. Sci.* 15:732.

- Williams, A. G. and G. S. Coleman. 1985. Hemicellulose degrading enzymes in rumen ciliate protozoa. *Curr. Microbiol.* 12:85.
- Williams, D. L., J. V. Whiteman and A. D. Tillman. 1969. Urea utilization in protein supplements for cattle consuming poor quality roughages on the range. *J. Anim. Sci.* 28:807.
- Yokoyama, M. T. and K. A. Johnson. 1988. Microbiology of the rumen and intestine. 125-144. In: Church, D. C. (Ed.) *The ruminant animal digestive physiology and nutrition.* Prentice Hall, New Jersey U.S.A. 564.
- Zorrilla-Rios, J., J. D. Garza and F. N. Owens. 1990. Impact of osmotically active compounds on rumen digesta kinetics. *Okla. Agr. Exp. Sta. Res. Rep.* MP-129:170.

A P E N D I C E S

APENDICE 1

Cuadro 4.1. Calendario de actividades (1994-95).

Actividad\Periodo	1	2	3	4
Experimento 1.				
Adapt. a la dieta	18-25 nov	04-11 dic	20-27 ene	06-13 ene
Dig. in situ	26-29 nov	12-15 dic	28-31 ene	14-17 ene
Dosis de Cr ₂ O ₃	26 nov-02 dic	12-18 dic	28 dic-03 ene	14-20 ene
Dosis de Co	01 dic	17 dic	02 ene	19 ene
Heces y liq. rum.	30nov-03 dic	16-19 dic	01-04 ene	18-21 ene
Evacuación rum.	03 dic	19 dic	04 ene	21 ene
Experimento 2.				
Adapt. a la dieta	26 nov-03 dic	12-19 dic	28dic-05 ene	14-21 ene
Dosis de Cr ₂ O ₃	04-10 dic	20-26 dic	06-12 ene	22-28 ene
Dosis de Co	09 dic	25 dic	11 ene	27 ene
Heces y liq. rum.	08-11 dic	24-27 dic	10-13 ene	26-29 ene
Evacuación rum.	11 dic	27 dic	13 ene	29 ene

APENDICE 2

Fórmulas para calcular la digestibilidad de las fracciones de los ingredientes, en este caso los cálculos son para la materia orgánica.

$$\text{MOR(g)} = \text{wmsr} * \text{MO}(\%)$$

$$\text{FD(g)} = \text{MOR}_{\text{to}} - \text{MOR}_{\text{tf}}$$

$$\text{DMO}(\%) = \frac{\text{FD} - (\text{MOR}_{\text{to}} - \text{MOR}_{\text{ti}}) * 100}{\text{FD}}$$

$$\text{FPD}(\%) = \frac{\text{FD} * 100}{\text{MOR}_{\text{to}}}$$

donde:

- MOR = Materia orgánica residual.
- wmsr = Peso de la muestra después de incubada.
- MO(%) = % materia orgánica de la muestra.
- FD(g) = Fracción digestible (gramos).
- DMO (%) = digestibilidad de la MO.
- MOR_{to} = MOR al tiempo cero (muestra sin incubar).
- MOR_{tf} = MOR al último tiempo de incubación.
- MOR_{ti} = MOR en cada incremento de tiempo de incubación.
- FPD(%) = Fracción potencialmente digestible, %.