



3
11662 2ej.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**Efecto de la inclusión de ingredientes energéticos y proteicos
con diferente degradabilidad ruminal en la digestibilidad *in situ*
y aparente, la fermentación ruminal y el comportamiento
productivo de cabras Granadinas.**

**TESIS QUE PRESENTA:
JUAN ANTONIO CHAVEZ DURON**

**COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN EL AREA DE
NUTRICION ANIMAL**

ASESOR: Ph. D. JOSE LUIS ROMANO MUÑOZ

COMITE:

**Ph. D. ARMANDO S. SHIMADA MIYASAKA
Ph. D. JUAN DE D. GARZA FLORES
Ph. D. MOISES MONTAÑO BERMUDEZ
Ph. D. ROGELIO GOMEZ ALARCON**

AJUCHITLAN, QRO. JULIO DE 1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

RESUMEN

Chávez Durón Juan Antonio. 1997. Efecto de la inclusión de ingredientes energéticos y proteicos con diferente degradabilidad ruminal en la digestibilidad *in situ* y aparente, la fermentación ruminal y el comportamiento productivo de cabras Granadinas. Tesis de Maestría. Asesor Ph.D. José Luis Romano Muñoz.

Se realizaron dos experimentos para evaluar la respuesta de cabras Granadinas a dietas elaboradas con ingredientes conteniendo carbohidratos no estructurales y proteína de rápida y lenta degradación ruminal. Se formularon 4 dietas experimentales que proporcionaran, aproximadamente, la misma energía neta para lactación y proteína, utilizando sorgo (S) y cebada (C) como ingredientes energéticos de lenta y rápida degradación ruminal, respectivamente, y pasta de soya (PS) y harina de subproductos de pollo (HSP) como proteína de rápida y lenta degradación ruminal, respectivamente. Los tratamientos fueron los S-PS, S-HSP, C-PS, C-HSP y rastrojo de sorgo como fuente de forraje (aproximadamente 40% de la ración). En el experimento 1, se evaluó la digestibilidad *in situ*, la cinética, la fermentación ruminal y digestibilidad aparente. Se utilizaron 16 hembras Granadinas, secas, no gestantes, fistuladas en el rumen, con un peso promedio de 27.700 ± 6.0 kg. Las dietas experimentales se ofrecieron una vez al día, al 2.75% del peso vivo. Se usó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial 2×2 . La tasa de digestión de la cebada (23.3%/h) fue mayor ($p < 0.05$) que la del sorgo (8.2%/h). La tasa de digestión de la PS (13.8%/h) fue mayor ($p < 0.05$) que la de la HSP (8.7%/h). La tasa de digestión del rastrojo de sorgo tuvo una tendencia ($p < 0.10$) a ser mayor en las cabras alimentadas con PS (4.4%/h) en relación a las alimentadas con HSP (3.4%/h). La fracción potencialmente digestible del rastrojo de sorgo fue menor ($p < 0.01$) en las cabras alimentadas con HSP. La tasa de dilución y la tasa de pasaje de los ingredientes no fueron afectadas ($p > 0.15$) por el tipo de dieta. Se observó una tendencia ($p < 0.08$) de que las dietas basadas en HSP (6.2) tuvieron un mayor pH ruminal, comparadas con las dietas con PS (6.1). Las cabras que consumieron las dietas conteniendo PS presentaron, en promedio (3.6mg/dl), mayores ($p < 0.01$) concentraciones de amoniaco en el rumen que las cabras alimentadas con las dietas basadas en HSP (1.6 mg/dl). La concentración de AGV totales fue similar ($p > 0.15$) para todas las dietas experimentales. La digestibilidad aparente de la proteína cruda (PC) fue mayor ($p < 0.05$) para las dietas con base en cebada (66.3%) que

para las basadas en sorgo (60.1%) y una tendencia a ser mayor ($p < 0.12$) con la PS (65.5%) que con la HSP (61.0%). La digestibilidad aparente de la fibra detergente neutro libre de cenizas (FDNL), tuvo una tendencia ($p < 0.09$) a ser mayor con la PS (62.3%), que con la HSP (58.6%).

En el experimento 2, se evaluó el comportamiento productivo de cabras Granadinas alimentadas *ad libitum* con las mismas dietas experimentales. Se determinó el consumo de materia seca (MS), PC, FDN, carbohidratos no estructurales (CNE), proteína degradable en el rumen (PDR) y carbohidratos no estructurales degradables en el rumen (CNEDR). Se evaluó la producción de leche total y corregida al 4% de grasa y su composición, y el cambio de peso corporal. Se utilizaron 12 cabras de raza Granadina con 31 días en lactación, 10 multíparas y 2 primíparas, una de las cuales se descartó por baja producción, con un peso inicial promedio de $36.0 \text{ kg} \pm 6.2$. Las variables de consumo de MS y nutrientes y cambio de peso corporal por tres períodos de 28 días (P1, P2 y P3) fueron analizadas con un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial 2×2 , con parcelas divididas (períodos como observaciones repetidas). Se utilizó la producción de leche una semana antes del inicio del experimento como covariable. El consumo de MS, PC, y FDN fue mayor para las cabras alimentadas con dietas con base en PS en el P3. El consumo de CNE fue mayor para la dieta S-PS. El consumo de CNEDR fue mayor para las cabras alimentadas con las dietas con base en cebada y PS. La producción de leche corregida fue menor para las cabras alimentadas con las dietas C-PS y S-HSP en el P3. La dieta C-PS presentó un menor contenido de grasa y proteína en leche. Bajo las condiciones del presente experimento, no existió efecto de una sincronización de ingredientes de rápida o lenta degradación con las dietas utilizadas, sin embargo, la tasa de digestión y la cantidad de PDR de los ingredientes son una variable importante a considerar para calcular la disponibilidad de proteína a nivel ruminal.

DEDICATORIA

A Diana y Jaqueline, con todo mi amor.

A mis padres, con profundo cariño, respeto y admiración.

A mis hermanos, por su apoyo brindado.

A mis maestros, amigos y compañeros.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), por la oportunidad y el apoyo económico para la realización de mis estudios de maestría.

A la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán de la UNAM, por haberme permitido realizar mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo económico durante la realización de los estudios de maestría.

Al Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, por las facilidades brindadas para la realización del proyecto de investigación. Por el apoyo del personal científico.

Al Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México, A.C., por su apoyo con animales y la alimentación de los mismos.

Al Dr. José Luis Romano Muñoz, por su orientación y colaboración en la elaboración del presente trabajo. Por la amistad, el apoyo y los consejos brindados.

Al laboratorio de Nutrición Animal del CENID - Fisiología, por su apoyo en el análisis de muestras, en especial a la Q.A. Ericka Ramírez. Al laboratorio de Nutrición Animal en el CENID - Microbiología, por su apoyo en el análisis de AGV, en especial a la M. Sc. Irma Tejada de Hernández y MVZ Enrique Vera Gutiérrez.

A los miembros del H. jurado: Dr. Armando Shimada Miyasaka, Dr. Juan de Dios Garza Flores, Dr. Moisés Montaña Bermudez, y el Dr. Rogelio Gómez Alarcón, por su colaboración y sugerencias para mejorar la presente tesis.

A Lorena y Ofe, por su amistad y ayuda desinteresada que me brindaron durante el desarrollo del trabajo. A Don Jesús por su apoyo en la planta de alimentos. A mis compañeros Pili, Luz, Chava, Silvestre, Valdemar, José Luis, Roberto y Diego, por su colaboración y amistad.

CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN	i
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
CONTENIDO	v
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE ANEXOS	x
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	2
Utilización de carbohidratos	2
Carbohidratos no estructurales	2
Carbohidratos estructurales	4
Utilización de proteínas	6
Generalidades	6
Necesidades de compuestos nitrogenados de los microorganismos	7
Caracterización de la proteína	7
Síntesis microbial	10
Sincronización de la disponibilidad de carbohidratos y proteínas	14
III. OBJETIVOS GENERALES	18
IV. EXPERIMENTO 1.	
Objetivos	19
Materiales y Métodos	19
Resultados	33
Discusión	51
V. EXPERIMENTO 2.	
Objetivos	58
Materiales y Métodos	58
Resultados	62
Discusión	68
VI. CONCLUSIONES	73
VII. REFERENCIAS	74
VIII. APENDICES	89

INDICE DE CUADROS

	PAGINA
1. Cronograma de actividades realizadas en cada período experimental.	20
2. Composición de las dietas experimentales.	22
3. Horas de introducción de bolsas de incubación y tiempos de muestreo utilizados en la prueba de tasa de digestión <i>in situ</i> .	26
4. Tiempos de muestreo utilizados para determinar la tasa de pasaje de sólidos.	29
5. Promedio de mínimos cuadrados de parámetros obtenidos de la tasa de digestión <i>in situ</i> y tasa de pasaje de la materia seca de granos. Modelo de Orskov y McDonald, 1981.	35
6. Promedio de mínimos cuadrados de parámetros obtenidos de la tasa de digestión <i>in situ</i> y tasa de pasaje de la materia seca y proteína cruda de ingredientes proteicos. Modelo de Orskov y McDonald, 1981.	37
7. Promedio de mínimos cuadrados de parámetros obtenidos de la tasa de digestión <i>in situ</i> y tasa de pasaje de la frutera seca y fibra detergente neutro del rastrojo de sorgo. Modelo de Mertens y Loftens, 1980.	38
8. Promedio de mínimos cuadrados de parámetros obtenidos de la tasa de dilución (CoEDTA).	39
9. Promedio de mínimos cuadrados de parámetros de tasa de pasaje de granos. Modelo G4G1.	41
10. Promedio de mínimos cuadrados de parámetros de tasa de pasaje de ingredientes proteicos. Modelo G4G1.	41

PAGINA

- 11. Promedio de mínimos cuadrados de parámetros de tasa de pasaje del rastrojo de sorgo. Modelo G4G1. 42**
- 12. Promedio de mínimos cuadrados de peso corporal, consumo de materia orgánica y digestibilidad (%) de fracciones de alimento. 50**
- 13. Promedios de mínimos cuadrados del consumo de alimento y nutrimentos, la producción y composición de la leche y cambio de peso corporal de cabras Granadinas. 64**

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
1. pH ruminal en cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.	43
2. N amoniacal en el líquido ruminal (LR) de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.	43
3. Concentración de ácidos grasos volátiles en el rumen de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.	46
4. Composición porcentual molar de acetato en el rumen de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.	46
5. Composición porcentual molar de propionato en el rumen de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.	47
6. Composición porcentual molar de butirato en el rumen de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.	47
7. Relación acetato:propionato de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.	48
8. Consumo de materia seca, como porcentaje del peso vivo, de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.	65
9. Consumo de proteína cruda, como porcentaje del peso vivo, de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.	65
10. Consumo de fibra detergente neutro, como porcentaje del peso vivo, de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.	66

- 11. Consumo de carbohidratos no estructurales, como porcentaje del peso vivo, de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína. 66**
- 12. Producción de leche ajustada al 4% de grasa en cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína. 67**
- 13. Cambio de peso corporal de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína. 67**

INDICE DE ANEXOS

	PAGINA
A. Procedimiento para marcar el rastrojo de sorgo e ingredientes proteicos con cromo (Udén et al., 1980)	89
B. Procedimiento para marcar los granos con yterbio por el método de inmersión-lavado (Goetsch y Galyean, 1983).	90
C. Procedimiento para la determinación de yterbio y cromo (Poore et al. 1990).	91
D. Programa SAS para modelos de dos compartimientos, edad-dependiente, edad-independiente (Ellis et al., 1979; Pond et al., 1988).	92

I. INTRODUCCION

El método que se utiliza actualmente en la formulación de raciones para rumiantes está basado en el balanceo de energía metabolizable o neta, con proteína degradable y no degradable en el rumen, y considera el estado fisiológico y nivel de producción del animal para el cual está dirigida la ración (National Research Council NRC, 1984, 1985, 1989). Sin embargo, combinaciones de diferentes fuentes de suplementación energética-proteica, balanceadas a un mismo nivel de energía y proteína, pueden provocar una respuesta diferente en la producción láctea o ganancia de peso en ganado lechero o de carne. Russell et al. (1992) mencionan que esto se puede deber a que las recomendaciones del NRC tienen una serie de limitaciones: 1) el crecimiento microbial en rumen es calculado con base en el total de nutrimentos digestibles (TND), o digestibilidad total, más que en una estimación de carbohidratos disponibles ruminalmente; 2) la ecuación para ganado lechero relativa a la producción microbial a partir de TND tiene un intercepto negativo, el cual puede subestimar la producción de proteína microbial con un consumo bajo de TND; 3) La eficiencia de crecimiento microbial es constante.

Debido a lo anterior, se ha propuesto (Nocek y Russell, 1988; Russell et al., 1992; Stern et al., 1994) que balanceando y sincronizando la disponibilidad de nitrógeno (N) y energía a los microorganismos del rumen, se puede maximizar la utilización de la proteína degradable en rumen (PDR) y optimizar la tasa del crecimiento microbial. Además, una fijación más eficiente del N de la PDR reducirá el requerimiento de la proteína de sobrepaso y la excreción de N urinario, resultando en un incremento en la eficiencia en el uso de los recursos alimenticios por los animales.

II. REVISION DE LITERATURA

UTILIZACION DE CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos son la clase más abundante de compuestos encontrados en plantas, ya que representan del 50 al 80% de la biomasa (en base seca) de los forrajes (Van Soest, 1982), y se definen como polihidroxialdehidos, polihidroxiacetonas o moléculas que pueden ser hidrolizadas para producir otras moléculas más simples (Kennedy y White, 1983; Lehninger, 1985). Por su función en la planta, los carbohidratos se pueden clasificar como no estructurales y estructurales (Baldwin y Denham, 1979, Moore y Hatfield, 1994).

Carbohidratos no estructurales. Los polisacáridos no estructurales comprenden en su mayoría a los almidones, a los fructanos y a los galactanos. El primero es el principal polisacárido de almacenamiento en plantas superiores, los fructanos son importantes en zacates de clima templado (Pontis y Del Campillo, 1985; Moore y Hatfield, 1994), y los galactanos son únicos en leguminosas y reemplazan al almidón como carbohidrato de reserva (Van Soest, 1982).

El almidón es un polímero compuesto de unidades de D-glucosa y se presentan en dos formas: amilosa y amilopectina. La primera es una molécula lineal de unidades D-glucosa en uniones α 1-->4. Tiene un peso molecular relativamente bajo con menos de 2,000 residuos de glucosa por molécula y es soluble en agua. La amilopectina es una molécula altamente ramificada con cadenas de D-glucosa con uniones α 1-->4 unidas a cadenas con uniones α 1-->6 a diferentes intervalos de la columna de la molécula y es insoluble en agua (Moore y Hatfield, 1994).

La utilización de carbohidratos no estructurales (CNE) por los rumiantes es casi completa. La sacarosa y otros azúcares solubles deben ser degradados a monosacáridos, los cuales son rápidamente fermentados en el rumen para producir ácidos grasos volátiles (AGV) (Morrison, 1979). El almidón es hidrolizado a maltotriosa, maltosa y glucosa por una variedad de amilasas producidas por bacterias, protozoarios y hongos presentes en el rumen (Hoover y Stokes, 1991). Los microorganismos amilolíticos predominantes son *Bacterioides amylophilus*, *Succinobrio dextrinosolven*, *Selenomonas ruminantium* y *Streptococcus bovis* (Morrison, 1979; Baldwin y Allison, 1982).

Los principales granos utilizados en la alimentación animal, como fuente importante de energía, son el maíz, el sorgo y la cebada. Estos granos son ricos en almidones (más de 60% de la materia seca). La estructura y composición del almidón de los distintos tipos de grano juegan un papel importante en la digestibilidad del almidón en cereales (Rooney y Pflugfelder, 1986) y en el sitio y la extensión de la digestión en el tubo gastrointestinal (Nocek y Tamminga, 1991). Además, existen interacciones con otros componentes del grano, como la matriz de proteína que envuelve al almidón y la fibra presente, que pueden limitar la tasa y extensión de degradación de los granos.

Las diferencias en la digestibilidad de gránulos de almidón purificado por amilasas han sido atribuidas al grado de cristalinidad (Manners, 1985), la proporción de amilosa a amilopectina (Sandstedt et al., 1962) y la presencia de una superficie resistente (Fuwa et al., 1978). El maíz con alto contenido de amilosa tiene una pobre digestibilidad; mientras que el almidón de cereales cerosos, con alto contenido de amilopectina, es más

digestible (Rooney y Pflugfelder, 1986). Sin embargo, algunos trabajos han encontrado diferencias pequeñas en las tasas de digestión de gránulos de almidón aislado (purificado), sugiriendo que componentes estructurales del endospermo, más que las propiedades del gránulo de almidón, por sí mismo, son responsables de las diferencias en la digestión ruminal de granos como el maíz y la cebada (McAllister et al., 1993).

El examen con microscopio electrónico de barrido ha mostrado que el molido de los granos de cereales expone el interior de las células del endospermo al ataque enzimático, pero los gránulos de almidón permanecen incrustados en la matriz proteica. La matriz proteica del endospermo del maíz es extremadamente resistente a la digestión por los microorganismos ruminales; en contraste, la matriz proteica de la cebada es digerida rápidamente (McAllister et al., 1990). Adicionalmente, McAllister et al. (1993) observaron que el tratamiento con proteasas incrementó la extensión de la digestión del almidón en el maíz a la hora 16, comparado con la cebada, sugiriendo que el tratamiento eliminó la matriz proteica, y otros factores, como los carbohidratos estructurales, pueden limitar el acceso de los microorganismos ruminales a los gránulos de almidón de la cebada.

Carbohidratos estructurales. Los polisacáridos estructurales se clasifican principalmente en pectinas, celulosa y hemicelulosa, si bien esta clasificación refleja más una solubilidad a un detergente común que una composición similar, debido a que no representan grupos finitos de polisacáridos (Moore y Hatfield, 1994). Aunque la pectina está asociada con la pared celular, esta es soluble en la solución neutro detergente y no se reporta en el contenido de la fracción de fibra detergente neutro (FDN)

(Nocek y Russell, 1988). La mayoría de sus monómeros están unidos por enlaces β -glucosídicos (Moore y Hatfield, 1994).

La degradabilidad de los polisacáridos de las paredes celulares varía considerablemente tanto dentro como entre especies vegetales. La celulosa es degradada en rumen por microorganismos anaerobios que incluyen bacterias, protozoarios y hongos. Las bacterias más importantes en la digestión de la celulosa son *Ruminococcus flavefaciens*, *R. Albus* y *Fibrobacter succinogenes* (Bryant, 1973). La celulosa purificada es degradada completamente por microorganismos ruminales (Van Soest, 1973); sin embargo, existen factores intrínsecos que pueden limitar la tasa a la cual la celulosa es digerida, como es su asociación con la lignina y otros constituyentes de la pared celular (Moore y Hatfield, 1994).

La hemicelulosa es degradada en el rumen de una manera similar a la de la celulosa, aunque se necesita de un mayor número de enzimas (Moore y Hatfield, 1994). Las mismas bacterias que intervienen en la degradación de la celulosa también son las más importantes bacterias hemicelulíticas (Hespell, 1988). La degradabilidad de la hemicelulosa es variable y generalmente incompleta, debido a su composición, siendo un factor importante la proporción de xilosa:arabinosa. Esta relación ha sido correlacionada negativamente con la digestibilidad del forraje (Albrecht et al., 1987).

Las pectinas son rápida y completamente degradadas en rumen a través de liasas y esterasas. Esta relativa facilidad de degradación está en función de su solubilidad y accesibilidad a las enzimas responsables de su degradación. Muchas bacterias celolíticas tienen actividad pectinolítica, pero no pueden utilizar los productos resultantes

(oligogalacturonoides y ácido galacturónico) para soportar su propio crecimiento (Dehority, 1993, citado por Moore y Hatfield, 1994).

La digestión de polisacáridos de las paredes celulares intactas está limitada por la presencia de compuestos fenólicos dentro de la matriz de la pared celular (Eraso y Hartley 1990; Hatfield, 1993). Estos compuestos fenólicos consisten principalmente de lignina y ácidos fenólicos que están unidos químicamente a la lignina o directamente a los polisacáridos de la pared celular (Moore y Hatfield, 1994). La lignina es el mayor componente no polisacárido de las paredes celulares de la planta y es considerado virtualmente indigestible por los rumiantes (Van Soest, 1982) y como el principal factor que limita la digestión de los polisacáridos de la pared celular en el rumen (Jung y Deetz, 1993 ; Jung y Allen, 1995).

UTILIZACION DE PROTEINAS

Generalidades. El contenido de nitrógeno de los alimentos tradicionalmente ha sido expresado en términos de proteína cruda (PC) ($N \times 6.25$), lo que es muy útil como una medida simple del nivel de proteína en el alimento; sin embargo, es insuficiente en los nuevos sistemas de alimentación que necesitan una mejor caracterización de las diferentes fracciones del nitrógeno en el alimento.

En especies no rumiantes, se maneja la proteína digestible y la caracterización de los alimentos en términos de su contenido de aminoácidos disponibles para propósitos productivos. En rumiantes, debido al reciclaje del nitrógeno y a las actividades de los microorganismos del rumen, el concepto de proteína digestible no proporciona una descripción completa del valor proteico del alimento. Las necesidades de

los microorganismos por nitrógeno degradable no específico deben ser cubiertas para maximizar la función digestiva del rumen. Esto implica la necesidad de caracterizar la degradabilidad ruminal de la proteína del alimento (ARC, 1984; AFRC, 1987). Esta es la base del sistema de proteína metabolizable (AFRC, 1993) también llamado proteína absorbible (NRC, 1985; NRC, 1989). Estos sistemas separan a la proteína ingerida en dos componentes: 1) Proteína verdadera digestible microbial y 2) Proteína del alimento digestible no degradada en rumen (AFRC, 1993); estas fracciones también se refieren como degradable en rumen, y no degradable en rumen (NRC, 1985; NRC, 1989).

Necesidades de compuestos nitrogenados de los microorganismos. La gran mayoría de las bacteria ruminales, tanto digestoras de carbohidratos estructurales como no estructurales, pueden utilizar amoníaco como su única fuente de nitrógeno y otras bacterias tienen un requerimiento absoluto del mismo (Hungate, 1966; Russell y Sniffen, 1984; Smith, 1989). Algunas especies, como *Streptococcus bovis*, posiblemente requieren de aminoácidos y péptidos cortos, pero bajo las condiciones normales del rumen, la alimentación cruzada (recambio microbial) puede cubrir estas necesidades (Cotta y Russel, 1982), por lo que se reconoce que la fuente de nitrógeno para el crecimiento de las bacterias es el amoníaco y su asimilación es de importancia central en el metabolismo del rumen (Smith, 1989).

La cantidad de amoníaco requerido para el crecimiento microbial no está bien definida y es motivo de controversia. Por ejemplo, Schaefer et al. (1980) sugieren que una actividad cercana al máximo se puede mantener con una concentración de 1.4 mg N-NH₃/100 ml de fluido ruminal. Otros

estudios (Satter y Slyter, 1974; Slyter et al., 1979; Milne et al., 1979; Hoover et al., 1982; deFairea y Huber, 1984; Pritchard y Males, 1985) demostraron tasas máximas de crecimiento microbioal o de digestión de materia orgánica en concentraciones de 1 a 1.7 mg de N-NH₃. Sin embargo, otros investigadores (Allen y Miller, 1976; Mehrez et al., 1977; Okorie et al., 1977; Edward y Bartley, 1979; Ha y Kennelly, 1984;) sugieren valores de 7 a 76 mg de N-NH₃. Mientras que Hespell y Bryant (1979) y Russell et al., (1983) han indicado que los requerimientos de amoníaco están directamente relacionados a la disponibilidad de substratos, tasa de fermentación y eficiencia de síntesis microbioal.

Caracterización de las proteínas. El nitrógeno de la dieta está formado por diferentes constituyentes lo cual repercute en la tasa de digestión del mismo. Puede, entonces, clasificarse de acuerdo a su tasa de digestión según diversos autores (Krishnamoorthy et al., 1983; NRC, 1985; Nocek y Russel, 1988; Chalupa y Sniffen, 1996). La fracción A está formada por amoníaco, nitratos, aminoácidos y péptidos, su degradación ruminal es instantánea y nada de ésta fracción pasa al intestino delgado. La fracción B₁ consiste de globulinas y algunas albúminas, su degradación ruminal es de 200-300 %/h y por lo tanto solo pequeñas cantidades pueden alcanzar al intestino delgado, y su digestibilidad en el intestino es completa. La fracción B₂ está formada en su mayoría por albúminas y glutelinas, con una degradación ruminal del 5 al 15 %/h y una digestibilidad intestinal del 100%. La fracción B₃ consiste de prolaminas y proteínas asociadas a la pared celular así como proteínas desnaturalizadas por exposición al calor, pero no al punto de causar la reacción de Maillard; son degradadas en rumen del 0.1 al 1.5 %/h, y su digestibilidad intestinal es

del 80%. La fracción C corresponde a proteínas de reacción de Maillard y nitrógeno unido a lignina, las cuales no son degradadas en rumen y son consideradas indigestibles en intestino.

Existen varias técnicas para caracterizar a las diferentes fracciones del nitrógeno del alimento. Así por ejemplo, NRC (1985) sugiere como mejor técnica la de utilizar animales fistulados con cánula duodenal y determinar en forma separada la proteína cruda microbiana (bacteriana y de protozoarios) y la proteína del alimento sin digerir, además del flujo total de proteína. Debido a que esta técnica es compleja y costosa, se han propuesto otras técnicas. Sniffen et al. (1992) proponen la determinación de nitrógeno total por macro o microkjeldahl, proteína soluble por el procedimiento de Krishnamoorthy et al. (1983) y nitrógeno insoluble en solución neutro detergente y ácido detergente (Van Soest et al., 1991). También se utiliza la suspensión del alimento a evaluar en el rumen (llamada técnica *in situ*, *in sacco*, o de la bolsa de fibra artificial) y consiste en suspender bolsas de dacrón o nylon por diferentes periodos de tiempo (Orskov y Mehrez, 1977). Los valores de la proporción de nitrógeno desaparecido de la bolsa a diferentes intervalos de tiempo son ajustados a una función exponencial con tres constantes (a, b y c), según la ecuación propuesta por Orskov y McDonald (1979).

El método *in situ* permite separar tres fracciones de los grupos de nutrimentos con respecto a su disponibilidad ruminal: soluble (a), potencialmente degradable (b) y no degradable (Nocek, 1988).

La fracción a representa al componente soluble del alimento y consiste principalmente en azúcares y nitrógeno (generalmente no proteico) y se asume que están disponibles inmediatamente a los

microorganismos del rumen y son degradadas a una tasa muy rápida (Nocek, 1988). Sin embargo, se ha reportado (Nocek et al., 1983) que la fracción soluble de algunos alimentos pueden tener una tasa de digestión menor que la fracción potencialmente degradable, o aún ser indigestible, como algunos compuestos fenólicos (Chesson, 1981). Además, esta fracción será pobremente utilizada por los microorganismos del rumen, si constituye una gran proporción del alimento, a menos que el N liberado esté sincronizado con la fermentación de los carbohidratos (Orskov, 1982).

La fracción potencialmente degradable (b) es la proporción del alimento que puede desaparecer debido a la digestión en un tiempo dado infinito en un sistema específico (Mertens, 1993), y es descrito por constantes de cinética de primer orden (c), por lo que se asume que la fracción es homogénea y que el sustrato remanente será degradado como una función lineal (transformado al logaritmo natural) de tiempo en el rumen (Nocek, 1988).

El tiempo que el alimento permanece en el rumen influye marcadamente la proporción de la proteína degradada por los microorganismos en dicho compartimento (AFRC, 1993). Así, Orskov y McDonald (1979) demostraron que la degradabilidad efectiva, para una tasa de pasaje dada (r) también puede ajustarse a una ecuación.

SINTESIS MICROBIAL

El flujo de nitrógeno microbial del rumen al intestino delgado puede representar del 50 al 80% de los requerimientos de aminoácidos de los ruminantes en varios estados de producción (Orskov, 1982 ; Nocek y Russell, 1988). Numerosos factores tanto del alimento como del animal

afectan el nivel de síntesis microbial; pero los más determinantes son la disponibilidad de energía y de nitrógeno a los microorganismos (Clark et al., 1992; AFRC, 1993).

No siendo limitantes otros nutrientes, la cantidad de proteína microbial sintetizada en el rumen está determinada por la energía disponible en forma de uniones fosfato de alta energía, (ATP), que se producen a partir de la fermentación de la materia orgánica ingerida (Smith, 1989). La mayor parte de la energía proviene de la fermentación de los carbohidratos (Hungate, 1966; Russell y Strobel, 1993) ya que estos producen más energía por unidad de peso que las proteínas (Stern y Hoover, 1979; Nocek y Russell, 1988), y la gran mayoría de los microorganismos utilizan a los productos de los carbohidratos como fuente de energía (Russell et al., 1983; Argyle y Baldwin, 1989). La energía suministrada como grasa en la dieta no proporciona energía para la síntesis de proteína microbial porque esta no es fermentable (Van Soest, 1982).

Debido a que no es práctico determinar la producción de ATP en el medio ruminal, como medida de la disponibilidad de energía, se utiliza a la materia orgánica aparentemente fermentada en rumen (MOAFR) o verdaderamente fermentada en rumen (MOVFR), aunque algunos autores también la reportan como carbohidratos fermentados en rumen (Nocek y Russell, 1988). Una revisión de 262 dietas ofrecidas a bovinos o borregos mostraron en promedio, una síntesis de 32 g de N microbial por kg de MOAFR, o aproximadamente 24 g de N microbial por kg de MOVFR (ARC, 1984), que es el promedio que utilizan varios sistemas de alimentación.

En la mayoría de las dietas para ganado lechero, la tasa de fermentación ruminal dependerá, inicialmente, de la presencia de carbohidratos rápidamente degradables (carbohidratos no estructurales), primeramente azúcares simples, pectinas y después almidones. Subsecuentemente, la disponibilidad de energía será regulada por la cantidad y composición de los constituyentes de la pared celular (carbohidratos estructurales) (Leedle et al., 1986). Entonces, la disponibilidad de energía y por tanto la síntesis microbial estará relacionada con los factores que influyen sobre la tasa de digestión de los almidones y la pared celular. Estos factores son, el nivel de consumo, la relación forraje:concentrado, y la fuente y cantidad de carbohidratos, grasa y proteína en la dieta.

Clark et al. (1992), en una revisión de 39 experimentos en los que evaluaron 157 dietas para ganado lechero, señalan que aunque la proporción de MOAFR o MOVFR puede disminuir al incrementarse el consumo de materia orgánica (MO), las cantidades netas (kg/d) de MOAFR, MOVFR, el pasaje de nitrógeno no amoniacal y de nitrógeno microbial pueden incrementarse. Estos mismos autores señalan que mayores consumos de MO pueden provocar una disminución en el pH ruminal e incrementar la tasa de pasaje y por lo tanto incrementar el escape ruminal de proteínas como la pasta de soya, reportada como de alta degradabilidad ruminal.

Una forma sencilla de aumentar el nivel de energía en el rumen es incrementando la fermentación de la MO de los CNE, alterando la relación forraje:concentrado en la dieta. Rode et al. (1985), evaluando dietas basadas en diferentes proporciones de heno de alfalfa, maíz molido y

pasta de soya en vacas lecheras, encontraron la máxima síntesis microbial ruminal cuando la relación concentrado:forraje fue 62:38. La mayor síntesis microbial se debe a mayores consumos de MO y MOAFR, y por lo tanto mayores tasas de pasaje de partículas y líquidos lo que reduce el reciclamiento de N en rumen (Clark y Davis, 1983; Firkins et al., 1986). Sin embargo, cuando las dietas contienen más del 70% de concentrados hay una acumulación de lactato, provocando acidosis, disminución de la digestión de la fibra y en el consumo de alimento (Russell et al., 1992) y una reducción en la eficiencia de la síntesis microbial (Clark et al., 1992). Esto se puede deber a que algunas bacterias pierden energía a través de sus membranas en ambientes ruminales con pH bajos (Russell y Strobel, 1993), además, también se reporta un incremento en la fase LAG y una disminución en la tasa de digestión de la fibra *in vitro* para algunos forrajes (Grant y Weidner, 1992). Por lo tanto, aunque exista más energía potencialmente disponible para los microorganismos ruminales alimentados con dietas altas en granos, puede haber disminución de la síntesis de proteína microbial (Stern et al., 1994).

Por otro lado, Hoover y Stokes (1991) realizaron un análisis de dietas para ganado lechero y sugirieron que la ingestión de PDR puede ser más limitante para la síntesis microbial que los carbohidratos y encontraron una mayor ingestión de materia seca (MS), eficiencia microbial y síntesis de N microbial con dietas conteniendo del 10 al 13% de PDR de la ración.

SINCRONIZACION DE LA DISPONIBILIDAD DE CARBOHIDRATOS Y PROTEINAS.

Se ha postulado (Nocek y Russell, 1988; Russell et al., 1992; Stern et al., 1994) que la sincronización en la degradación ruminal de los carbohidratos y proteína puede mejorar la eficiencia de la fermentación ruminal y la respuesta productiva del animal. Varios trabajos han encontrado respuesta positiva a la sincronización. Así, Sinclair et al. (1993), utilizando una dieta basal de paja de trigo y cebada en ovinos, encontraron una mayor concentración de N-NH₃ ruminal, proporciones más estables de AGV y un incremento de 27% en la síntesis de N microbial (g N/kg de MS consumida) con una dieta sincronizada (dieta basal más harina de canola) que con una dieta no sincronizada (dieta basal más grano oscuro de destilería de malta). Estos mismos autores, en 1995, repitieron el experimento con dietas de composición similar (paja de trigo, cebada de invierno, harina de canola y urea), y encontraron incrementos del 11 al 20% en la eficiencia de síntesis microbial con la dieta sincronizada. Matras et al. (1991), en una prueba con corderos en crecimiento, evaluaron 3 granos con diferente tasa de degradabilidad (cebada, sorgo rolado a vapor y sorgo rolado en seco) y tres fuentes de proteína con diferente tasa de degradabilidad (urea, urea:harina de sangre:harina de gluten de maíz, y harina de sangre:harina de gluten de maíz), con tres niveles de consumo. Encontraron que la utilización de N fue más eficiente (24 a 27% del N consumido fue retenido) cuando se combinaron fuentes de grano y proteína de rápida degradación (cebada y urea), que cuando se combinaron fuentes de grano y proteína de lenta degradación (sorgo y mezcla de harina de sangre:gluten de maíz).

En cambio, Herrera-Saldana et al. (1990) evaluaron, con vacas en lactación, la sincronización de la degradabilidad de la proteína y almidón, proporcionando cuatro combinaciones de ingredientes con diferentes características relacionadas con la degradación ruminal (cebada-harinolina; cebada-residuos secos de cerveceria; sorgo-harinolina; y sorgo-residuos secos de cerveceria). Ellos mostraron una mayor síntesis y eficiencia microbial cuando se utilizó la dieta sincronizada de cebada-harinolina. Asimismo, Stokes et al. (1991) utilizando dietas con diferentes niveles de CNE (38, 31 y 24% de la MS) y de proteína degradable en rumen (13.2, 11.8 y 9% de la MS), encontraron una mayor síntesis y flujo de proteína microbial con las dietas de mayor contenido de CNE y de proteína degradable en rumen, lo que sugiere una mayor sincronización de los carbohidratos y la proteína. También Aldrich et al. (1993) reportaron un mayor pasaje de N bacterial (262 g/d) cuando una fuente de CNE altamente disponible en rumen fue combinada con una fuente de proteína con las mismas características, y fue menor (214 g/d) cuando la fuente de CNE altamente disponible en rumen fue combinada con una fuente proteica de baja disponibilidad ruminal. Siddons et al. (1985) reportaron una eficiencia de síntesis de N microbial de 21 g/kg en una dieta de silo, contra 26 g/Kg de MOADR de zacate seco. Debido a las diferencias en las tasas de digestión entre los carbohidratos estructurales y no estructurales, es de esperarse que la proporción entre estos dos componentes afecte la disponibilidad de energía en el rumen.

En contraste, otros autores no han encontrado respuesta a la sincronización. Henning et al. (1993), utilizando una dieta basal de paja de trigo, harina de pescado y melaza, estudiaron el efecto de la sincronización

de energía y N en borregos. Dichos investigadores, agregaron directamente en el rumen combinaciones de carbohidratos solubles (maltosa, dextrosa, maltotriosa) y fuentes de N (urea y caseinato de sodio) para hacer mezclas compatibles y no compatibles, y no encontraron diferencias en el flujo microbial ni en la eficiencia de crecimiento, tanto a nivel de mantenimiento, como de producción.

Con vacas en lactación, se han obtenido diversas respuestas a la sincronización de energía y proteína. McCarthy et al. (1989), en una evaluación de fuentes de proteína con diferente degradabilidad ruminal y fuentes de carbohidratos con diferentes tasas y extensión de la digestión, probaron las dietas maíz-pasta de soya, maíz-harina de pescado, cebada-pasta de soya y cebada-harina de pescado. Dichos investigadores encontraron que las dietas basadas en cebada fueron más degradadas en rumen y proporcionaron más energía para el crecimiento microbial; sin embargo, aunque el pasaje de N microbial fue mayor para las dietas basadas en cebada, el pasaje de N total, N no amoniacal (NNA), N no amoniacal no microbial (NNANM), aminoácidos y almidón al duodeno fue similar o mayor para las dietas basadas en maíz, debido a un mayor consumo y menor degradabilidad ruminal. Asimismo, Casper y Schingoethe (1989) en una evaluación de dietas de alta solubilidad de PC y carbohidratos, no encontraron mejoras en la respuesta productiva de vacas en lactación, con la dieta "sincronizada" (cebada - pasta de soya) en comparación a una dieta "no sincronizada" (maíz - pasta de soya).

Uno de los factores que puede influir en la falta de respuesta a la sincronización de la degradación de los carbohidratos y proteína es la capacidad de los rumiantes para reciclar el nitrógeno, especialmente

cuando una fuente de carbohidratos degradables se encuentra disponible para los microorganismos ruminales (Sultan et al., 1992). Además, la alimentación cruzada de las bacterias en el medio ruminal puede proporcionar substratos a los organismos del medio por un tiempo mayor del ciclo de alimentación (McAllister et al., 1994). También es importante señalar que en raciones altas en grano, el pH tiende a ser más ácido y debido al pK'a del amoníaco, la absorción del mismo será menor y los microorganismos del rumen tendrán mayor disponibilidad de nitrógeno amoniacal (Mendoza y Ricalde, 1993), pero también se reporta (Russel y Strobel, 1987) que las bacterias tienen la capacidad de concentrar amoníaco intracelular hasta 15 veces el gradiente de concentración extracelular, debido a que cuando las concentraciones de amoníaco son bajas, las bacterias utilizan un sistemas de transportación que requiere ATP, disminuyendo la eficiencia de síntesis de proteína microbial (Leng y Nolan, 1984).

Considerando lo anterior y que en la especie caprina no se ha realizado investigación tendiente a evaluar la respuesta a la utilización de ingredientes con características similares de degradación (sincronización) y su posible repercusión en la eficiencia de producción de dicha especie, se plantearon dos experimentos con los siguientes objetivos.

III. OBJETIVOS GENERALES

Generar información sobre la consideración de la cantidad de carbohidratos y proteína degradable en el rumen, la tasa de digestión de los mismos y la cinética ruminal de diferentes ingredientes como un criterio adicional para la formulación de dietas para caprinos.

HIPOTESIS

La utilización de ingredientes energéticos y proteicos con tasas de degradación similar promueven un incremento en la eficiencia de la utilización de nutrimentos y producción en rumiantes.

IV. EXPERIMENTO 1. EVALUACION DE INGREDIENTES ENERGETICOS Y PROTEICOS CON DIFERENTE DEGRADABILIDAD RUMINAL EN LA DIGESTIBILIDAD *in situ* Y APARENTE, Y LA FERMENTACION RUMINAL.

OBJETIVOS. Evaluar la influencia de dietas elaboradas con ingredientes conteniendo carbohidratos y proteína de rápida y lenta degradación ruminal en la cinética, digestibilidad, y parámetros ruminales en cabras.

MATERIALES Y METODOS

LUGAR. El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, del INIFAP - SAGAR, localizado en el municipio de Colón, Querétaro, situado a 1990 msnm, con un clima BS1K'(w), semiseco templado, con lluvias en verano, con una precipitación anual de 460 a 630 mm, y temperatura media anual de 15 C (Soria et al., 1987). Los análisis químicos se realizaron en los laboratorios del mismo Centro.

ANIMALES EXPERIMENTALES. Se utilizaron 16 hembras Granadinas, secas, no gestantes, fistuladas en el rumen, provistas con cánulas permanentes (2.5 cm de diámetro interno), con un peso promedio de 27.700 ± 6.0 kg. Las cabras fueron operadas 4 semanas antes del inicio del experimento.

MANEJO. Los animales fueron desparasitados 15 días antes del inicio del experimento contra parásitos internos con clorhidrato de

levamisol (Ripercol L 12%, 1 ml/20 kg de peso vivo, vía intramuscular) y vitaminados intramuscularmente con vitamina A, D y E. Las cabras se mantuvieron en jaulas metabólicas durante el desarrollo del experimento, excepto para las pruebas de tasa de digestión *in situ* de los ingredientes y de la tasa de dilución, las cuales se llevaron a cabo en corraletas individuales techadas, con comedero de cemento, bebedero de chupón y piso de cemento cubierto con rejilla de madera.

Se realizaron 2 periodos experimentales de 42 días cada uno. En cada periodo se utilizaron 8 cabras. Los primeros 14 días de cada periodo se consideraron para la adaptación a la dieta. El cronograma de las actividades realizadas se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Cronograma de actividades realizadas en cada período experimental

Día	Actividad
1-14	Período de adaptación a la dieta.
15-17	Tasa de digestión <i>in situ</i> de granos.
18-19	Tasa de digestión <i>in situ</i> de ingredientes proteicos.
20-24	Tasa de digestión <i>in situ</i> del rastrojo de sorgo.
25	Tasa de dilución.
26-28	Tasa de pasaje de granos e ingredientes proteicos.
29	Fermentación ruminal (pH, N-NH ₃ , AGV).
32-36	Tasa de pasaje del rastrojo de sorgo.
35-42	Prueba de digestibilidad.

N-NH₃ = Nitrógeno amoniacal. AGV = ácidos grasos volátiles.

ALIMENTACION. Se formularon 4 dietas experimentales que proporcionaran, aproximadamente, la misma energía neta para lactación y proteína cruda pero con ingredientes de diferente degradabilidad ruminal. Las dietas experimentales se presentan en el Cuadro 2. Las cabras fueron alimentadas diariamente con una ración integral a las 0900 h. Durante los primeros 12 días del periodo de adaptación, el alimento se ofreció *ad libitum*, permitiendo 5% de rechazos. En el d 12 se ajustó el consumo a un porcentaje fijo de su peso vivo, siendo este del 2.75%.

El consumo de alimento fue registrado diariamente. El alimento ofrecido y los rechazos fueron muestreados diariamente para obtener una muestra compuesta. Las muestras fueron almacenadas a una temperatura de -25 C, para su posterior análisis. Para el análisis químico, las muestras fueron secadas a 55 C por 72 horas en una estufa de aire forzado para determinar MS. Las muestras secas fueron molidas en un molino Wiley con criba de 1 mm y se determinó: MS, PC, cenizas, extracto etéreo (AOAC, 1980) y FDN (Van Soest et al., 1991). Se calculó el contenido de CNE utilizando la siguiente fórmula: $100 - [\text{proteína cruda} + (\text{FDN} - \text{proteína en FDN}) + \text{extracto etéreo} + \text{cenizas}]$ (Van Soest et al., 1991).

Cuadro 2. Composición de las dietas^a experimentales (% base seca).

Ingrediente	DIETAS			
	S-PS	S-HSP	C-PS	C-HSP
Rastrojo de sorgo	39.0	40.9	39.0	40.1
Sorgo	37.4	40.9	-	-
Cebada	-	-	40.1	43.0
Pasta de soya	17.7	-	14.9	-
Harina de subproductos de pollo	-	12.6	-	10.4
Melaza	2.47	2.45	2.45	2.43
Grasa	1.56	1.56	1.56	1.57
S. minerales ^b	0.79	0.78	0.78	0.88
Sal	0.45	0.45	0.45	0.45
Carbonato de calcio	0.62	0.33	0.74	0.31
COMPOSICION				
Materia Orgánica	89.9	93.5	89.4	90.8
Proteína Cruda	13.3	12.8	13.1	13.5
Fibra detergente neutro	45.1	46.4	46.0	47.6
Grasa	3.5	5.1	3.4	4.5
Carbohidratos no estructurales ^c	30.0	29.3	28.9	27.3
Em ^d	2.69	2.61	2.76	2.82

^a S, sorgo; C, cebada; PS, pasta de soya; HSP, harina de subproducto de pollo.

^b Compuesto de 18% de calcio y 21% de fósforo.

^c Calculado como $100 - [\text{proteína cruda} + (\text{FDN} - \text{proteína en FDN}) + \text{extracto etéreo} + \text{cenizas}]$.

^d Energía Metabolizable; calculado de tablas (NRC, 1981).

VARIABLES DE RESPUESTA:

Tasa de digestión *in situ* de ingredientes de las dietas.

Tasa de dilución de la fase líquida. Volumen ruminal.

Tasa de pasaje de sólidos.

pH, N-NH₃ y AGV en líquido ruminal.

Digestibilidad aparente de MS, PC, FDN libre de cenizas (FDNL).

TASA DE DIGESTION *in situ*. Se determinó por separado, la tasa de digestión del grano de sorgo, la cebada, la pasta de soya, la harina de subproductos de pollo y el rastrojo de sorgo. Las muestras fueron molidas en un molino Wiley con una criba de 1 mm y secadas a 55 C en una estufa de aire forzado por 24 horas; posteriormente permanecieron en el laboratorio por un mínimo de 24 horas para que alcanzaran equilibrio con la humedad del medio ambiente. Se utilizaron bolsas de nylon de 11 cm x 5 cm (medidas internas), con un tamaño de poro de 50 µm, cocidas con doble hilo y selladas con silicona. Las bolsas fueron lavadas con agua corriente, secadas en estufa de aire forzado a 55 C, enfriadas en desecador y pesadas. En cada bolsa se colocaron aproximadamente 3.9 g de muestra del grano o del ingrediente proteico (24 mg/cm²), ó 2.9 g del rastrojo de sorgo (18 mg/cm²). Las bolsas fueron amarradas con cordón de nylon (aproximadamente 35-40 cm) y fueron colocadas en secuencia inversa en el rumen de los animales en los intervalos mostrados en el Cuadro 3.

Al momento de remover las bolsas, se lavaron con agua corriente hasta que ésta salió clara. Las bolsas fueron secadas a peso constante en

estufa de aire forzado a 55 C, enfriadas en desecador y pesadas para la determinación de MS. Las muestras secas de las repeticiones fueron mezcladas y molidas en mortero. A las muestras de los ingredientes proteicos se les determinó PC (AOAC, 1980) y a las del rastrojo de sorgo se les determinó FDN (Van Soest et al., 1991).

Los porcentajes de desaparición de MS, PC y FDN fueron calculados con base en la proporción remanente en la bolsa después de su incubación en el rumen. Los datos de degradabilidad de la MS de los ingredientes (granos, proteicos y rastrojo de sorgo) y de la PC de los proteicos, fueron ajustados a un modelo de cinética de primer orden (Orskov y McDonald, 1979), al cual se le incorporó una fase Lag (McDonald, 1981). El modelo se muestra a continuación:

$$dg = a' + b'(1 - e^{-c(t-l)}),$$

donde:

dg = Degradabilidad potencial,

a' = MS o PC soluble extraído por lavado con agua corriente.

b' = MS o PC potencialmente degradable, sin incluir a la MS o PC soluble.

c = tasa fraccional de degradación de la MS o PC por hora.

l = fase lag en el inicio de la degradación.

La fracción potencialmente degradable se consideró como la suma de a' + b', y la degradabilidad efectiva se calculó con la tasa de pasaje de partículas determinada en este mismo experimento, de acuerdo a la siguiente ecuación: $Rd = a + (b \cdot c) / (c + k_2)$

donde:

Rd = Degradabilidad efectiva;

a, b y c = constantes ajustadas en la ecuación anterior;

k₂ = tasa de pasaje del ingrediente en el retículo-rumen.

Los valores de degradabilidad de la materia seca y fibra detergente neutro del rastrojo de sorgo en el rumen fueron ajustados a un modelo de cinética de primer orden con la inclusión de una fase lag (Mertens y Loftens, 1980), el cual se muestra a continuación:

$$R = D_o e^{-k(t-L)} + I \text{ cuando } t > L \text{ y } R = D_o + I \text{ cuando } 0 < t < L$$

donde:

R = residuo de la pared celular (a tiempo t) (%),

D_o = fracción potencialmente digestible (%) (a tiempo $t \leq L$, $D_o = R + I$),

k = constante de tasa de digestión (%/h),

t = tiempo (horas),

L = fase lag (horas), y

I = Fracción indigestible (%) a las 96 h.

Las tasas de digestión de la fibra (k) se obtuvieron realizando una regresión del logaritmo natural del residuo de la fracción potencialmente digestible (D_o) con el tiempo de incubación. La fracción potencialmente digestible fue calculada como la diferencia entre el residuo de la fracción en un tiempo X de incubación y la fracción residual indigestible a las 96 h (I), tal como fue propuesto por Smith et al. (1971). La fase lag (L) fue derivada de la ecuación original de la siguiente manera:

$$D_o = D'' e^{-k(L)}$$

$$\ln D_o = \ln D'' - k(L)$$

$$L = (\ln D_o - \ln D'') / -k$$

donde:

D'' = intercepto de la ecuación del $\ln (R-I)$ sobre el tiempo.

Las demás variables fueron definidas en la ecuación anterior.

Cuadro 3. Horas de introducción de bolsas de incubación y tiempos de muestreo utilizados en la prueba de tasa de digestión *in situ*. Las bolsas para su incubación en el rumen fueron introducidas en secuencia inversa.

Granos y Proteicos			Rastrojo de sorgo		
Día	Hora	Muestreo (h)	Día	Hora	Muestreo (h)
1	0000	64	1	1800	96
1	1600	48	2	1800	72
2	0800	32	4	0600	36
2	2000	20	4	1800	24
3	0400	12	5	0600	12
3	0800	8	5	0900	9
3	1200	4	5	1200	6
3	1400	2	5	1500	3
3	1600	0	5	1800	0

TASA DE DILUCION DE LIQUIDOS Y VOLUMEN RUMINAL. Para la determinación de estas variables se dosificaron 0.16 g de Co en una solución de Cobalto-etilendiamintetraacetato (Co-EDTA) disuelto en 50 ml de agua a las 0900 h en diferentes sitios vía cánula ruminal (Udén et al., 1980). Se colectaron 50 ml de líquido ruminal a las 0, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 horas posdosificación. Las muestras fueron centrifugadas a 3000 g por 20 minutos y se almacenaron a -25 C para su posterior determinación de Co por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin-elmer Norwalk, CT,

modelo 4000) (Moore et al., 1990).

La tasa de dilución de la fase líquida se calculó como la pendiente de la regresión lineal del logaritmo natural de la concentración del marcador en el líquido ruminal, graficada contra el tiempo de muestreo (gráfica semilogarítmica). El volumen se determinó dividiendo la dosis de Co administrado entre el antilogaritmo de la concentración del marcador al tiempo cero (intercepto) (Hungate, 1966).

TASA DE PASAJE DE SÓLIDOS. La tasa de pasaje de la fracción sólida de los ingredientes se determinó de la siguiente manera: los granos fueron marcados con yterbio por el método de Goetsch y Galyean (1983). Los ingredientes proteicos fueron marcados con cromo tal como fue descrito por Udén et al. (1980). La FDN del rastrojo de sorgo se amordantó con cromo para utilizarse como marcador externo (Udén et al., 1980). La preparación de los ingredientes marcados se describe en los apéndices A. y B.

Los granos e ingredientes proteicos marcados fueron administrados en forma simultánea; el rastrojo de sorgo marcado se administró 6 días después de los granos y proteicos para evitar contaminación con el cromo de los ingredientes proteicos. Los ingredientes marcados (8 g de los granos y los proteicos, 10 g de fibra amordantada) se proporcionaron en el comedero una hora antes de la alimentación; después de 45 minutos, la cantidad residual se colocó directamente en el rumen de las cabras a través de la cánula ruminal.

Las muestras de heces se tomaron directamente del recto en los tiempos de muestreo indicados en el Cuadro 4. Los intervalos de muestreo

fueron más cortos entre las 4 y 36 h para los granos y proteicos, y entre 30 y 48 h para el rastrojo de sorgo, con el propósito de obtener el mayor número de puntos alrededor del pico de la curva de excreción. Las muestras de heces fueron secadas a 55 C por 72 horas en una estufa de aire forzado, y almacenadas en bolsas de plástico selladas para su análisis posterior. Las heces fueron molidas en un molino Wiley utilizando una criba de 1 mm.

El marcador fue extraído por el procedimiento sugerido por Poore et al. (1990), tal y como se describe en el apéndice C. La concentración de los marcadores se determinó por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin-Elmer, Norwalk, CT, modelo 4000 para cromo y modelo 2380 para yterbio).

Las curvas de excreción de todos los marcadores fueron ajustadas a modelos de dos compartimentos, siendo el compartimento rápido gama dependiente (GnG1, $n = 1$ a 4), utilizando el procedimiento no lineal de SAS (1988, PROC NLIN, método iterativo Marquardt) (Ellis et al., 1979; Pond et al., 1988). Los modelos, en el lenguaje de programación de SAS, se presentan en el apéndice D.

Cuadro 4. Tiempos de muestreo utilizados para determinar la tasa de pasaje de sólidos.

Granos y Proteicos			Rastrojo de sorgo		
Día	Hora	Tiempo postdosis (h)	Día	Hora	Tiempo postdosis (h)
1	0800	0	1	0800	0
1	1200	4	1	1400	6
1	1600	8	1	2000	12
1	2000	12	2	0200	18
2	0000	16	2	0800	24
2	0400	20	2	1400	30
2	0800	24	2	1800	34
2	1200	28	2	2200	38
2	1600	32	3	0300	43
2	2000	36	3	0800	48
3	0200	42	3	2000	60
3	0800	48	4	0800	72
3	1400	54	4	2000	84
3	2000	60	5	0800	96
4	0800	72			

FERMENTACIÓN RUMINAL. Se colectaron 50 ml de líquido ruminal inmediatamente antes de ofrecer el alimento matutino y a las 2, 4, 6, 8 y 12

h posprandio. Las muestras de líquido ruminal fueron filtradas a través de 8 capas de gasa, y el pH se registró inmediatamente en un potenciómetro (Condustronic PH20, Puebla, México). Las muestras fueron congeladas a -25 C para su posterior análisis.

Para su análisis, las muestras fueron descongeladas y centrifugadas por 20 minutos a 4,200 g. La fracción sobrenadante fue analizada para ácidos grasos volátiles (AGV) (Tejada, 1992) y $N-NH_3$. Este último fue determinado por medio de un electrodo específico ión-nitrógeno amoniacal (Modelo 95-12, Orion Research, Cambridge, MA, EUA).

DIGESTIBILIDAD APARENTE. La digestibilidad se estimó por el método de colección total de heces por un periodo de 8 días de acuerdo a lo descrito por Rodríguez y Llamas (1990). Las dietas experimentales y rechazos fueron muestradas diariamente desde tres días antes y durante la prueba y almacenadas en bolsas de plástico. Las heces fueron colectadas diariamente a las 0800, pesadas y mezcladas; una alícuota de aproximadamente el 10% (base húmeda) fue secada a 55 C por 72 horas y almacenada en bolsas de plástico selladas. Las muestras secas de alimentos, rechazos y heces fueron molidas en un molino Wiley con criba de 1 mm y se realizaron análisis para la determinación de: MS, MO y PC (AOAC, 1980) y FDN libre de cenizas (FDNL) (Van Soest et al., 1991).

Para los cálculos de los coeficientes de digestión, se tomó en cuenta el alimento consumido desde tres días antes del inicio de esta prueba y hasta 6 días de la prueba en sí. Los coeficientes de digestión aparente (DA) de las dietas para MS, MO y FDN fueron calculados utilizando la siguiente fórmula:

DA=[(g nutrimento consumido - g nutrimento excretado)/g nutrimento consumido]*100

ANALISIS ESTADISTICO. Todas las variables de respuesta, excepto pH, N-NH₃ y AGV ruminales, fueron analizadas con el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + G_j + P_k + (GP)_{jk} + (BG)_{ij} + (BP)_{ik} + (BGP)_{ijk} + e_{(ijkl)}$$

i=1,2 j=1,2 k=1,2 l=1,2

donde:

Y_{ijkl} = Respuesta de la variable en el iésimo período de la jésima fuente de grano de la késima fuente de proteína de la lésima cabra.

μ = Media general.

B_i = Efecto del iésimo período.

G_j = Efecto de la jésima fuente de grano.

P_k = Efecto de la késima fuente de proteína.

(GP)_{jk} = Efecto de la interacción de la jésima fuente de grano con la késima fuente de proteína.

(BG)_{ij} = Efecto de la interacción del iésimo período con la jésima fuente de grano.

(BP)_{ik} = Efecto de la interacción del iésimo período con la késima fuente de proteína.

(BGP)_{ijk} = Efecto de la interacción del iésimo período con la jésima fuente de grano con la késima fuente de proteína.

e_(ijkl) = Error asociado con la cabra lésima, del iésimo período de la jésima fuente de grano de la késima fuente de proteína.

Los datos de pH ruminal, N-NH₃ ruminal y AGV fueron analizados con el modelo que se presenta a continuación:

$$Y_{ijklm} = \mu + B_i + G_j + P_k + (GP)_{jk} + (BG)_{ij} + (BP)_{ik} + (BGP)_{ijk} + A_{(ijk)l} + H_m + (BH)_{im} + (GH)_{jm} + (PH)_{km} + (GPH)_{jkm} + (BGH)_{ijm} + (BPH)_{ikm} + (BGPH)_{ijkm} + (AH)_{(jk)lm}$$

$$i=1,2 \quad j=1,2 \quad k=1,2 \quad l=1..12 \quad m=1..6$$

donde:

Y_{ijklm} = Respuesta de la variable del *i*ésimo período de la *j*ésima fuente de grano de la *k*ésima fuente de proteína de la *l*ésima cabra, en el *m*ésimo tiempo de muestreo.

B_i = Efecto del *i*ésimo período.

G_j = Efecto de la *j*ésima fuente de grano.

P_k = Efecto de la *k*ésima fuente de proteína.

$(GP)_{jk}$ = Efecto de la interacción de la *j*ésima fuente de grano con la *k*ésima fuente de proteína.

$(BG)_{ij}$ = Efecto de la interacción del *i*ésimo período con la *j*ésima fuente de grano.

$(BP)_{ik}$ = Efecto de la interacción del *i*ésimo período con la *k*ésima fuente de proteína.

$(BGP)_{ijk}$ = Efecto de la interacción del *i*ésimo período con la *j*ésima fuente de grano con la *k*ésima fuente de proteína.

$A_{(ijk)l}$ = Efecto del *l*ésimo animal dentro del *i*ésimo período de la *j*ésima fuente de grano de la *k*ésima fuente de proteína. Error para la parcela grande.

H_m = Efecto del *m*ésimo tiempo de muestreo.

$(BH)_{im}$ = Efecto de la interacción del *i*ésimo período con el *m*ésimo tiempo de muestreo.

$(GH)_{jm}$ = Efecto de la interacción de la *j*ésima fuente de grano con el *m*ésimo tiempo de muestreo.

$(PH)_{km}$ = Efecto de la interacción de la *k*ésima fuente de proteína con el *m*ésimo tiempo de muestreo.

(GPH)_{jkm} = Efecto de la interacción de la *j*ésima fuente de grano con la *k*ésima fuente de proteína con el *m*ésimo tiempo de muestreo.

(BGH)_{ijm} = Efecto de la interacción del *i*ésimo período con la *j*ésima fuente de grano con el *m*ésimo tiempo de muestreo.

(BPH)_{ikm} = Efecto de la interacción del *i*ésimo período con la *j*ésima fuente de proteína con el *m*ésimo tiempo de muestreo.

(BGPH)_{ijkm} = Efecto de la interacción del *i*ésimo período con la *j*ésima fuente de grano con la *k*ésima fuente de proteína con el *m*ésimo tiempo de muestreo.

(AH)_{(jk)im} = Efecto del *i*ésimo animal del *m*ésimo tiempo de muestreo dentro de la *j*ésima fuente de grano de la *k*ésima fuente de proteína. Término de error para la subparcela.

RESULTADOS

TASA DE DIGESTION *in situ*.

Los estimadores de las constantes a' , b' y c de la ecuación de Orskov y McDonald: $dg = a' + b'(1 - e^{-c(t-l)})$, así como los parámetros derivados de la misma ecuación, para la evaluación de la desaparición de la MS de los granos, y la MS y PC de los ingredientes proteicos, se presentan en los Cuadros 5 y 6. Los parámetros del modelo de digestión de la MS y FDN del rastrojo de sorgo: $R = D_0 e^{-k(t-L)}$ estimados por el procedimiento de transformación logarítmica se presentan en el Cuadro 7.

GRANOS. Los dos granos evaluados mostraron diferencias en sus características de degradación. La fracción soluble (a') de la MS tuvo una tendencia a ser mayor ($p < 0.14$) para la cebada (36.1%) que para el sorgo (19.9%). La fracción insoluble potencialmente degradable (b'), la fracción potencialmente degradable (Pd) de la MS y la fase LAG fueron superiores ($p < 0.01$) para el sorgo (76.6%, 96.5% y 1.6 h) que para la cebada (46.3%, 82.4% y -1.3 h). La tasa de digestión (c) fue mayor ($p < 0.05$) para la cebada (23.3%/h) que para el sorgo (8.2%/h). La MS realmente degradada en rumen (R_d), tomando en cuenta las tasa de pasaje real de cada grano, fue mayor ($p < 0.01$) para la cebada (69.8%) que para el sorgo (49.4%). Todos los parámetros señalados no fueron afectados ($p > 0.15$) por la fuente de proteína utilizada ni por la interacción de grano por fuente de proteína (Cuadro 5).

Cuadro 5. Promedios de mínimos cuadrados de parámetros obtenidos de la tasa de digestión *in situ* y tasa de pasaje de la materia seca de granos. Modelo de Orskov y McDonald, 1981.

	DIETAS ^x					EFECTO (p<) ^y		
	S-PS	S-HSP	C-PS	C-HSP	EEM	Gr	Pr	GrxPr
a' (%)	19.1	20.7	42.0	30.1	10.1	0.14	0.62	0.52
b(%)	77.3	76.0	41.4	51.3	9.47	0.01	0.66	0.57
Pd (%)	96.4	96.7	83.4	81.4	0.97	0.01	0.38	0.26
c (%/h)	8.70	7.60	21.0	25.6	5.30	0.01	0.74	0.60
LAG (h)	1.47	1.80	-1.15	-1.42	1.21	0.04	0.98	0.81
Rd (%)	46.3	52.4	73.5	66.0	4.77	0.01	0.88	0.18
k ₂ (%/h)	14.7	10.5	13.1	12.1	3.93	0.31	0.81	0.31

^x S, sorgo; C, cebada; PS, pasta de soya; HSP, harina de subproducto de pollo.

^y Gr, efecto del grano; Pr, efecto del ingrediente proteico; GrxPr, interacción del grano por el ingrediente proteico.

a', fracción soluble; b, fracción insoluble potencialmente degradable; Pd, fracción potencialmente degradable; c, tasa de digestión; LAG, fase de retardo; Rd, fracción realmente degradada en rumen; k₂, tasa de pasaje del retículo-rumen.

INGREDIENTES PROTEICOS. La degradabilidad ruminal fue diferente entre los dos ingredientes proteicos evaluados (Cuadro 6). La fracción a' de la MS fue mayor (p<0.05) en la pasta de soya (9.8%) que en la harina de subproductos de pollo (5.3%); pero la fracción a' de la PC fue similar (p>0.15) en ambos ingredientes. La fracción b' de la MS y de la PC fue mayor (p<0.01) en la pasta de soya (89.1 y 82.1%) que en la harina de subproductos de pollo (47.2 y 39.3%). La fracción Pd de la MS y PC fue

mayor ($p < 0.01$) en la pasta de soya (99.0 y 93.1%) que en la harina de subproductos de pollo (52.4 y 51.5%). La tasa de digestión de la MS fue afectada por la interacción grano por proteína ($p < 0.05$), siendo menor cuando las dietas basadas en sorgo se combinaron con HSP (6.83%/h), que con PS (14.5%/h), o con las dietas basadas en cebada (11.9%/h). La tasa de digestión de la PC también fue mayor ($p < 0.05$) con la pasta de soya que con la harina de subproductos de pollo (13.7 %/h vs. 7.2 %/h, respectivamente). La fase LAG de la MS y PC fue más larga ($p < 0.05$) en la pasta de soya (2.2 y 1.8 h) que en la harina de subproductos de pollo (1.2 y 1.5 h). La fracción Rd de la MS y PC fue superior ($p < 0.01$) para la pasta de soya (63.2 y 60.0%) que para la harina de subproductos de pollo (28.8 y 29.2%). Todos los parámetros señalados no fueron afectados ($p > 0.15$) por la fuente de grano utilizada ni por la interacción de grano por proteína.

Cuadro 6. Promedios de mínimos cuadrados de parámetros obtenidos de la tasa de digestión *in situ* y tasa de pasaje de la materia seca y proteína cruda de ingredientes proteicos. Modelo de Orskov y McDonald, 1981.

	DIETAS ^x				Efecto (p<) ^y			
	S-PS	S-HSP	C-PS	C-HSP	EEM	Gr	Pr	GrxPr
a' (%)								
MS	8.9	6.4	10.8	4.2	1.81	0.95	0.03	0.27
PC	9.6	6.2	11.5	9.0	2.93	0.78	0.71	0.50
b(%)								
MS	89.7	48.5	88.6	45.9	2.59	0.48	0.01	0.78
PC	82.2	40.8	81.9	37.9	2.91	0.59	0.01	0.66
Pd (%)								
MS	98.6	54.9	99.4	50.1	1.62	0.24	0.01	0.11
PC	91.8	53.5	94.4	49.4	3.02	0.81	0.01	0.29
c (%/h)								
MS	14.5	6.8	13.1	10.6	1.37	0.27	0.01	0.03
PC	13.9	5.2	13.6	9.3	1.23	0.20	0.01	0.16
LAG (h)								
MS	2.2	1.6	2.3	0.8	0.37	0.35	0.02	0.24
PC	1.8	2.1	1.8	0.9	0.41	0.94	0.03	0.55
Rd (%)								
MS	62.3	29.3	64.1	28.2	4.61	0.94	0.01	0.76
PC	57.0	29.4	63.0	29.0	5.37	0.61	0.01	0.57
K₂ (%/h)	11.3	8.2	9.4	10.1	2.2	0.78	0.70	0.47

^x S, sorgo; C, cebada; PS, pasta de soya; HSP, harina de subproducto de pollo.

^y Gr, efecto del grano; Pr, efecto del ingrediente proteico; GrxPr, interacción del grano por el ingrediente proteico.

a, fracción soluble; b, fracción insoluble potencialmente degradable; Pd, fracción potencialmente degradable; c, tasa de digestión; LAG, fase de retardo; Rd, fracción realmente degradada en rumen; k₂, tasa de pasaje del retículo-rumen.

RASTROJO DE SORGO. Las tasas de digestión (k) de la MS (4.05 %/h) y FDN (4.3 %/h) tendieron ($p < 0.15$ y $p < 0.09$, respectivamente) a ser mayores en los animales alimentados con pasta de soya que en los animales alimentados con harina de subproductos de pollo (3.3 y 3.4 %/h, para MS y FDN, respectivamente). La fase LAG de la MS y FDN fue similar ($p > 0.15$) para todos los tratamientos. La fracción Pd de la MS y FDN fue superior ($p < 0.01$) con la pasta de soya (55.2 y 54.2%) que con la harina de subproductos de pollo (46.7 y 47.4%). Todos los parámetros señalados no fueron afectados ($p > 0.15$) por la fuente de grano utilizada ni por la interacción de grano por proteína.

Cuadro 7. Promedios de mínimos cuadrados de parámetros obtenidos de la tasa de digestión *in situ* y tasa de pasaje de la materia seca y fibra detergente neutro del rastrojo de sorgo. Modelo de Mertens y Loftens, 1980.

	DIETAS ^x					Efecto (p<) ^y		
	S-PS	S-HSP	C-PS	C-HSP	EEM	Gr	Pr	GrxPr
k (%/h)								
MS	3.8	3.3	4.3	3.3	0.51	0.66	0.15	0.65
FDN	3.6	3.3	5.0	3.4	0.54	0.18	0.09	0.23
LAG (h)								
MS	3.1	2.9	4.9	3.2	0.91	0.26	0.31	0.41
FDN	1.1	1.1	2.9	1.9	1.08	0.27	0.64	0.67
Pd (%)								
MS	54.7	47.0	55.8	46.5	1.63	0.85	0.01	0.65
FDN	53.3	48.2	55.2	46.5	2.51	0.97	0.01	0.48
K ₂ (%/h)	4.0	5.4	5.6	3.5	2.8	0.48	0.38	0.59

^x S, sorgo; C, cebada; PS, pasta de soya; HSP, harina de subproducto de pollo.

^y Gr, efecto del grano; Pr, efecto del ingrediente proteico; GrxPr, interacción del grano por el ingrediente proteico.

k, tasa de digestión; LAG, fase de retardo; Pd, fracción potencialmente digestible; k₂, tasa de pasaje del retículo-rumen.

TASA DE DILUCION. No se encontraron efectos ($p>0.15$) de la fuente de grano, la fuente de proteína ni su interacción en la tasa de dilución, ni en el volumen y flujo ruminal expresado como porcentaje del peso corporal (Cuadro 8).

La concentración de cobalto en el líquido ruminal no alcanzó a bajar a cero en la última hora de muestreo (12 h postdosis), por lo que probablemente estos parámetros están sobrestimados. Sin embargo, la tasa de dilución encontrada en este estudio (11 %/h) fue similar a lo reportado para cabras Saanen (Silanikove et al., 1993) y vacas en lactación (Poore et al., 1990).

Cuadro 8. Promedios de mínimos cuadrados de parámetros de la tasa de dilución (CoEDTA)

	DIETAS ^x					Efecto (p<) ^y		
	S-PS	S-HSP	C-PS	C-HSP	EEM	Gr	Pr	GrxPr
TD (%/h)	11.7	10.6	11.5	10.6	1.08	0.94	0.42	0.91
VLR (%)	18.4	9.28	12.30	9.65	5.03	0.58	0.26	0.53
FL (%)	2.56	0.96	1.49	0.96	0.76	0.50	0.19	0.50

^x S, sorgo; C, cebada; PS, pasta de soya; HSP, harina de subproducto de pollo.

^y Gr, efecto del grano; Pr, efecto del ingrediente proteico; GrxPr, interacción del grano por el ingrediente proteico.

TD, tasa dilución en retículo-rumen; VLR(%), volumen del líquido ruminal como % del peso corporal; FL, flujo ruminal como % del peso corporal (VLR x TD)

TASA DE PASAJE. Los componentes de la dieta tuvieron diferente patrón de excreción. Las curvas asociadas con los ingredientes proteicos

tuvieron un pico más alto, y la curva bajó más rápidamente que la de granos y el rastrojo de sorgo; mientras que esta última tuvo un pico menor y la porción descendente de la curva fue más extendida que la de proteicos y granos. La explicación biológica es que el rastrojo de sorgo debe de someterse al proceso de rumia, hidratación y degradación microbial para poder alcanzar las características físicas necesarias para alcanzar el orificio retículo-omasal (Quiroz et al., 1988). Considerando el criterio de seleccionar a la curva con la menor suma de cuadrados medios de los residuales, el mejor modelo fue el G4G1, por lo que los resultados que se presentan a continuación se refieren a este modelo.

La tasa de pasaje del retículo-rumen (k_2), los tiempos de retención en el retículo-rumen, en el ciego-colon, y el tiempo de retención total de los granos, los ingredientes proteicos y del rastrojo de sorgo, no fueron afectados por ninguno de los tratamientos estudiados ni por su interacción (Cuadros 9, 10 y 11). La k_2 promedio para los granos, los ingredientes proteicos y el rastrojo de sorgo fue de 12.5, 9.5 y 4.5 %/h, respectivamente.

Los tiempos de retención total de los granos, de los ingredientes proteicos y del rastrojo de sorgo fueron en promedio de 34, 32 y 56 h; estos valores son superiores a los reportados para forraje de 45 h por Silanikove et al (1993) en cabras Saanen, pero con un forraje de mediana calidad (90% zacate Rhodes y 10% de alfalfa), pero similares a los reportados vacas secas (Hartnell y Satter, 1979) de 36 y 53 h para partículas de concentrados y forrajes, respectivamente.

Cuadro 9. Promedios de mínimos cuadrados de parámetros de tasa de pasaje y tiempos de retención de granos. Modelo G4G1.

	DIETAS ^x					Efecto (p<) ^y		
	S-PS	S-HSP	C-PS	C-HSP	EEM	Gr	Pr	GrxPr
k ₂ (%/h)	14.7	10.5	13.1	12.1	3.9	0.31	0.81	0.31
TR-RR (h)	8.4	10.9	14.9	11.3	3.7	0.37	0.88	0.43
TR-CC (h)	11.6	14.6	11.6	14.3	2.3	0.94	0.24	0.96
TMRT (h)	30.8	32.7	32.3	34.1	3.3	0.37	0.31	0.99

^x S, sorgo; C, cebada; PS, pasta de soya; HSP, harina de subproducto de pollo.

^y Gr, efecto del grano; Pr, efecto del ingrediente proteico; Gr x Pr, interacción del grano por el ingrediente proteico.

k₂, tasa de pasaje del retículo-rumen; TR-RR, tiempo de retención en el retículo-rumen; TR-CC, tiempo de retención en el ciego-colon; TMRT, tiempo medio de retención total.

Cuadro 10. Promedios de mínimos cuadrados de parámetros de tasa de pasaje y tiempos de retención de ingredientes proteicos. Modelo G4G1.

	DIETAS ^x					Efecto (p<) ^y		
	S-PS	S-HSP	C-PS	C-HSP	EEM	Gr	Pr	GrxPr
k ₂ (%/h)	11.3	8.2	9.4	10.1	2.2	0.78	0.70	0.47
TR-RR (h)	11.4	15.8	10.0	11.4	2.9	0.64	0.63	0.32
TR-CC (h)	14.3	10.9	11.3	10.2	2.6	0.49	0.41	0.68
TMRT (h)	30.7	34.8	31.2	31.2	3.3	0.66	0.54	0.54

^x S, sorgo; C, cebada; PS, pasta de soya; HSP, harina de subproducto de pollo.

^y Gr, efecto del grano; Pr, efecto del ingrediente proteico; GrxPr, interacción del grano por el ingrediente proteico.

k₂, tasa de pasaje del retículo-rumen; TR-RR, tiempo de retención en el retículo-rumen; TR-CC, tiempo de retención en el ciego-colon; TMRT, tiempo medio de retención total.

Cuadro 11. Promedios de mínimos cuadrados de parámetros de tasa de pasaje y tiempos de retención del rastrojo de sorgo. Modelo G4G1.

	DIETAS ^x					Efecto (p<) ^y		
	S-PS	S-HSP	C-PS	C-HSP	EEM	Gr	Pr	GrxPr
k₂ (%/h)	4.0	5.4	5.6	3.5	2.8	0.48	0.38	0.59
TR-RR (h)	28.3	34.3	31.3	28.4	7.1	0.90	0.78	0.59
TR-CC (h)	16.7	15.9	16.0	16.2	1.9	0.91	0.89	0.80
TMRT (h)	53.9	59.9	54.1	56.4	7.2	0.96	0.37	0.62

^x S, sorgo; C, cebada; PS, pasta de soya; HSP, harina de subproducto de pollo.

^y Gr, efecto del grano; Pr, efecto del ingrediente proteico; GrxPr, interacción del grano por el ingrediente proteico.

k₂, tasa de pasaje del retículo-rumen; **TR-RR**, tiempo de retención en el retículo-rumen; **TR-CC**, tiempo de retención en el ciego-colon; **TMRT**, tiempo medio de retención total.

FERMENTACION RUMINAL. Los valores de pH obtenidos en los diferentes tiempos de muestreo se presentan en la figura 1. En el presente trabajo se observó la tendencia ($p < 0.08$) de que las dietas basadas en harina de subproductos de pollo tuvieron en promedio un mayor pH (6.2) que las dietas con pasta de soya (6.1). Además, se presentó una interacción de tiempo de muestreo y fuente de grano ($p < 0.01$), notándose que el pH fue similar tanto con las dietas basadas en sorgo, como con las dietas basadas en cebada casi todo el tiempo, excepto en la hora 12 posprandio, tiempo en el cual el sorgo promedió 5.9 y la cebada promedió 6.2.

Las concentraciones de amoníaco en el rumen se presentan en la figura 2. Las dietas conteniendo pasta de soya presentaron, en promedio, mayores ($p < 0.01$) concentraciones (3.6 mg/dl) que las dietas basadas en

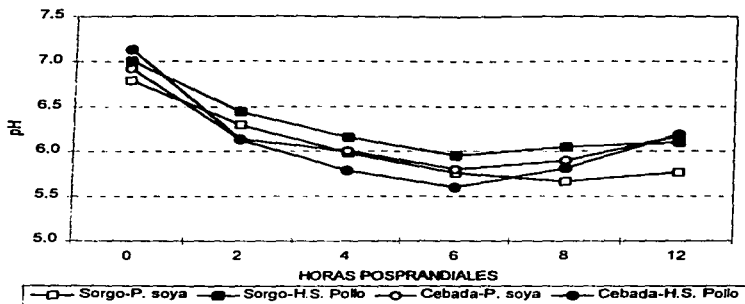


Figura 1. pH ruminal en cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.

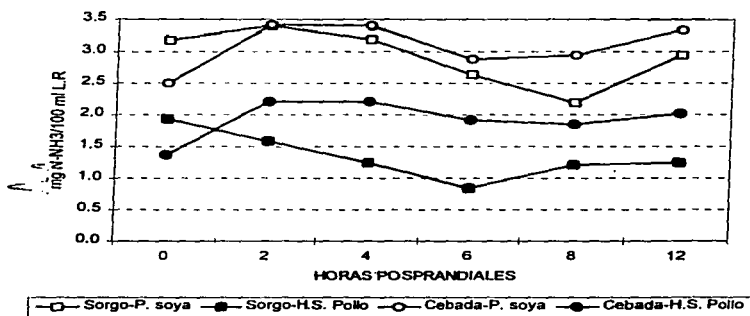


Figura 2. N amoniacal en el líquido ruminal (L.R.) de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.

harina de subproductos de pollo (1.6 mg/dl). Se presentó además una interacción entre tiempo de muestreo y fuente de grano ($p < 0.01$); en la hora 4 de muestreo, las dietas con base en cebada mantuvieron una concentración de amoníaco constante con respecto a la hora 2 posprandio, mientras que la concentración de amoníaco en las dietas basadas en sorgo tendió a disminuir.

La concentración de AGV totales, (promedio de 102 mM) fue similar ($p > 0.15$) para todas las dietas experimentales (figura 3) y alcanzó su máxima concentración a la hora 4 posprandial.

La proporción molar de acetato presentó una tendencia ($p < 0.14$) en la interacción de la fuente de grano con la fuente de proteína; la dieta C-PS presentó una menor proporción molar (67.4%) en relación al resto de las dietas, que tuvieron en promedio 68.9%. Además, se presentó una interacción entre el tiempo de muestreo y la fuente de grano debido a que las dietas con base en sorgo fueron mayores a las de la cebada, particularmente en las primeras 4 horas (72 vs. 69%), si bien, después de las 6 h, la proporción de acetato en las dietas del sorgo baja a 66%, en comparación a la cebada, que se mantiene arriba del 67% (figura 4).

La proporción molar del propionato (figura 5) fue mayor ($p < 0.05$) en la dieta S-HSP (23.5%) que en el resto de las dietas (18.5% en promedio). La proporción molar del butirato (figura 6) tuvo una tendencia ($p < 0.10$) a ser menor para la dieta S-HSP (8.5%) que para el resto de las dietas, que en promedio tuvieron una proporción promedio de 12.8%.

La relación acetato-propionato presentó una tendencia ($p < 0.07$) a ser mayor para la dieta S-PS (4.2) que para el resto de las dietas, las cuales presentaron una relación promedio de 3.6 (figura 7).

FALTA PAGINA

No. 45

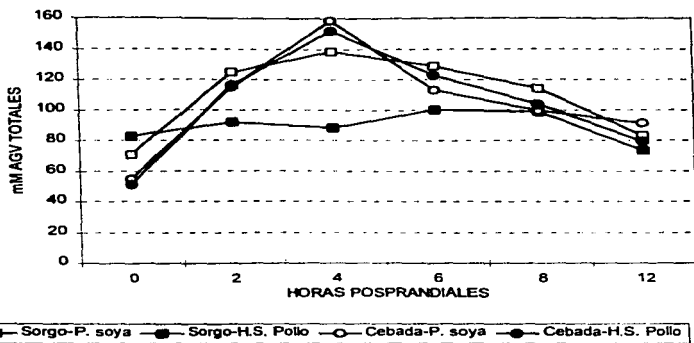


Figura 3. Concentración de ácidos grasos volátiles en el rumen de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.

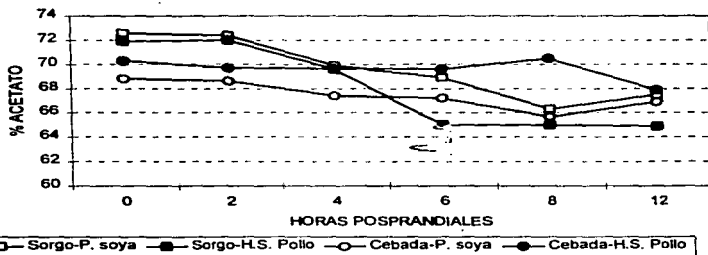


Figura 4. Composición porcentual molar de acetato en el rumen de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína

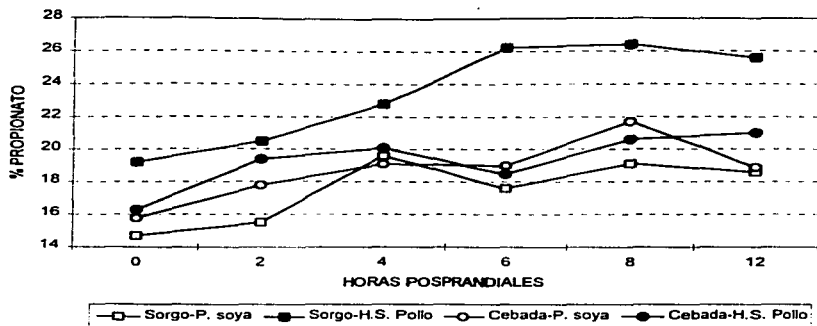


Figura 5. Composición porcentual de propionato en el rumen de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.

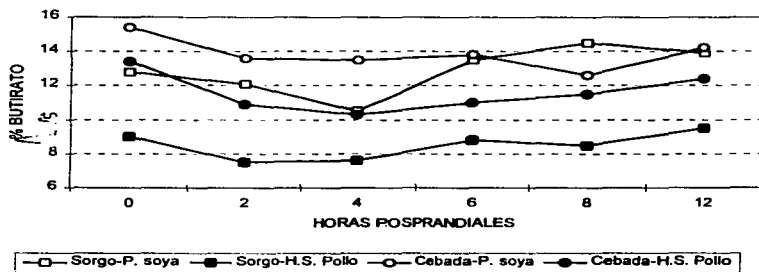


Figura 6. Composición porcentual molar de butirato en el rumen de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.

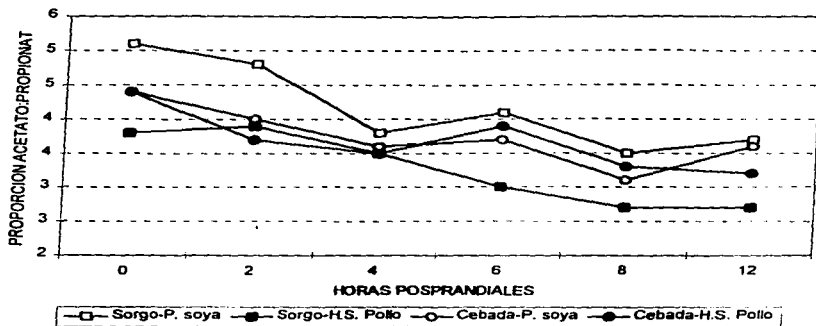


Figura 7. Proporción acetato:propionato en el rumen de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.

DIGESTIBILIDAD APARENTE. Los promedios de mínimos cuadrados para peso corporal, consumo de materia orgánica, expresado como porcentaje del peso vivo, y de la digestibilidad de diferentes fracciones de alimento se presentan en el Cuadro 12.

No se observaron diferencias ($p>0.15$) entre el peso corporal, consumo de MS y MO causadas por las fuentes de grano o de proteína utilizadas o su interacción, ya que los consumos fueron establecidos a un valor fijo. La digestibilidad aparente de la MS y MO no fue afectada ($p>0.15$) por la fuente de grano ni por la fuente de proteína. La digestibilidad aparente de la PC fue mayor ($p<0.05$) con la cebada (66.3%) que con el sorgo (60.1%), y tuvo una tendencia a ser mayor ($p<0.11$) con la pasta de soya (65.5%) que con la harina de subproductos de pollo (61.0%). La fracción Rd también fue mayor en la pasta de soya que en la harina de subproductos de pollo, lo que sugiere que este último ingrediente fue deficiente en PDR. La digestibilidad aparente de la FDN libre de cenizas (FDNL) tuvo una tendencia ($p<0.09$) a ser mayor con la pasta de soya (62.5%) que con la harina de subproductos de pollo (58.6%). Estos valores corresponden a las diferencias encontradas en la fracción Pd, tanto de la MS como de la FDN del rastrojo de sorgo, ya que fueron mayores para las dietas basadas en pasta de soya, que en las basadas en harina de subproductos de pollo. No se presentó ninguna interacción ($p>0.15$) en las variables antes señaladas.

Cuadro 12. Promedios de mínimos cuadrados de peso corporal, consumo de materia orgánica y digestibilidad (%) de fracciones de alimento.

	DIETAS ^x					Efecto (p<) ^y		
	S-PS	S-HSP	C-PS	C-HSP	EEM	Gr	Pr	GrxPr
PV (kg)	30.1	30.8	28.6	27.2	2.282	0.29	0.87	0.65
CMS (%PV)	2.75	2.64	2.76	2.81	0.07	0.18	0.59	0.24
CMO (%PV)	2.49	2.37	2.48	2.55	0.06	0.23	0.62	0.27
DMS	66.0	64.4	64.5	63.7	1.531	0.50	0.46	0.80
DMO	70.7	68.0	68.1	67.8	1.505	0.37	0.34	0.47
DPC	63.2	57.1	67.8	64.8	2.576	0.04	0.11	0.55
DFDNL	63.4	57.6	61.7	59.2	2.177	0.97	0.08	0.46

^x S, sorgo; C, cebada; PS, pasta de soya; HSP, harina de subproducto de pollo.

^y Gr, efecto del grano; Pr, efecto del ingrediente proteico; GrxPr, interacción del grano por el ingrediente proteico.

PV, peso vivo; CMS, consumo de materia seca; CMO, consumo de materia orgánica; DMS, digestibilidad materia seca; DMO, digestibilidad materia orgánica; DPC, digestibilidad de proteína cruda; DFDNL, digestibilidad de fibra detergente neutro libre de cenizas.

DISCUSION

TASA DE DIGESTION *in situ*. Estudios de Herrera et al. (1990) también mostraron diferencias en las fracciones a', b' y Pd entre el sorgo y la cebada en vacas en lactación. Sin embargo, en el presente trabajo se encontró un valor mayor para la fracción potencialmente digestible en el sorgo que lo reportado por estos autores, quienes manifestaron una degradabilidad del 85% a 48 h, aunque sin llegar a la asíntota, por lo que posiblemente se puede esperar una degradabilidad similar a 64 horas, que fue el tiempo máximo utilizado en este estudio.

La diferencia en la tasa de digestión de los granos se puede explicar por el hecho de que la matriz proteica del sorgo es más resistente al ataque microbial, disminuyendo la digestibilidad tanto de la proteína como del almidón que se encuentra incrustado en la matriz proteica (Rooney y Pflugfelder, 1986). La tasa de digestión tanto de la cebada como del sorgo también fueron mayores a los reportados por Herrera et al. (1990), pero similares a los reportados por Sniffen et al. (1992) y Sinclair et al. (1993).

Las diferencias entre los trabajos se pueden deber a que la tasa y extensión de la digestión son afectadas por factores como el tamaño de partícula, el tamaño de muestra, el origen de los granos (Galyean et al., 1979; Waldo, 1973), el tamaño del poro de las bolsas de incubación (Nocek y English, 1986), así como el tipo y la dieta de los animales (Loerch et al., 1983).

Russell et al. (1992) indican que si la tasa de degradación de la proteína excede a la de los carbohidratos, cantidades importantes de N pueden perderse como amoníaco; asimismo, si la tasa de degradación de

los carbohidratos excede a la de la proteína, la producción de proteína microbial puede disminuirse. Por otra parte, tasas de digestión rápidas de los CNE están asociadas a problemas de acidosis y por tanto, disminución de la digestión de la fibra y en el consumo de alimento (Britton y Stock, 1986) y una reducción en la eficiencia de la síntesis microbial (Clark et al., 1992). Herrera et al. (1990) concluyeron que sincronizando fuentes de almidón y proteína de rápida digestión en rumen (cebada-harinolina) obtuvieron un mayor pasaje de proteína microbial al intestino delgado que con dietas sin sincronizar.

En el presente estudio se encontró que la harina de subproductos de pollo y pasta de soya tuvieron un contenido de proteína degradable en rumen del 29.2% y 60.0%, respectivamente. Si bien, no existen requerimientos establecidos de proteína degradable en rumen para cabras, en vacas (NRC, 1989) se recomienda del 58 al 65% de la PC. Entonces, la tasa y extensión de la degradación del rastrojo de sorgo encontradas con las dietas basadas en harina de subproductos de pollo pudieron estar limitadas por una cantidad insuficiente de PDR. Las especies microbiales que probablemente son más afectadas por la concentración baja de amoníaco son aquellas que crecen lentamente, como las bacterias celulolíticas (Hungate, 1966).

Si los alimentos son degradados muy lentamente, puede resultar en un incremento en el llenado del rumen y en un incremento en el tiempo de retención de las partículas, y por lo tanto en una disminución en el consumo de alimento (Van Soest, 1982). En dietas con partícula pequeña, como en el presente trabajo, esto puede ir asociado con una disminución en la digestibilidad de la fibra de la dieta (Orskov, 1988). Si bien no se

encontraron diferencias en los tiempo de retención de los ingredientes, si se observó una menor tasa de digestión y digestibilidad total del rastrojo de sorgo.

En contraste, Hussein et al. (1995) reportaron que la extensión de la digestión *in situ* de la MS, MO y FDN fue mayor con dietas con pasta de soya tostada, de más lenta degradación, que la pasta de soya cruda. De la misma manera, McCarthy et al. (1989) incrementaron la digestión ruminal de la FDN al sustituir a la pasta de soya con harina de pescado (menos degradable), del 40 al 51%. Sin embargo, la proporción de proteína degradable en las dietas utilizadas en estos trabajos, posiblemente no fue tan limitante como en el presente trabajo.

TASA DE PASAJE. Los valores de la tasa de pasaje del retículo-rumen son mayores a los reportados en bovinos; por ejemplo, Owens y Goetsch (1986) desarrollaron ecuaciones a partir de valores de la literatura y estiman valores promedio de 3.3 y 4.5 %/h para forrajes y concentrados, respectivamente, en dietas altas en granos. Por otro lado, Poore et al. (1990) marcando los ingredientes con tierras raras, reportan tasas de 3.0, 4.7 y 5.1 %/h para paja, heno de alfalfa y grano de sorgo hojuelado, respectivamente, en dietas con 60% de concentrados suministradas a ganado de carne. Esta diferencia se podría explicar con base en el hecho de que las cabras han mostrado una mayor tasa de pasaje que los bovinos (Huston et al., 1986). También es importante señalar que el proceso de marcado de las partículas provoca una disminución en la proporción de las partículas grandes (>4.0 mm) y un incremento en las partículas pequeñas (.85 a 2.0 mm), sin influir en la proporción de partículas medias (2.0 a 4.0 mm) o muy finas (<0.85 mm) (Poore et al., 1991). En este trabajo se

marcaron los ingredientes tal y como se ofrecían en el alimento, es decir, molidos y se ha señalado que las partículas pequeñas dejan el rumen en la fase líquida (Hartnell y Satter, 1979); lo cual podría explicar parcialmente los altos valores de pasaje.

FERMENTACION RUMINAL. Las dietas S-PS, C-PS y C-HSP presentaron pH inferiores a 6 por períodos de 4 horas, aproximadamente, lo que pudo limitar ligeramente la digestión de la fibra. Hoover (1986) revisó los factores químicos que influyen sobre la digestión ruminal de la fibra y concluyó que una disminución en el pH aproximadamente a 6 resulta en una pequeña disminución en esta digestión, pero que una disminución a pH 5 puede causar una completa inhibición de la digestión de la fibra.

Otros autores han encontrado mayores concentraciones de amoniaco con dietas conteniendo ingredientes de mayor degradabilidad, aunque de mayor magnitud. Casper et al. (1990) encontraron mayores concentraciones de amoniaco en vacas lecheras con dietas suplementadas con urea (17 mg/dl) que en dietas basadas en pasta de soya (13 mg/dl). Igualmente, Aldrich et al. (1993) obtuvieron concentraciones de 13.6 y 9.6 mg/dl en ganado lechero con dietas elaboradas con ingredientes de alta y baja degradabilidad, respectivamente. Andrighetto y Bailoni (1994) reportaron concentraciones de 25.1 y 21.2 mg/dl en cabras suplementadas con harina de carne y una mezcla de harina de plumas y harina de sangre, respectivamente.

Existe una gran variabilidad en la literatura tanto de la concentración obtenida en diferentes experimentos en los que se determina este metabolito del rumen como de la concentración de amoniaco requerida

para una fermentación óptima. Por lo tanto, la concentración de amoníaco por sí sola generalmente no puede utilizarse como una guía de una fermentación óptima.

Es probable que el reciclaje de N a partir de urea sanguínea, vía saliva o a través del epitelio ruminal, juegue un papel importante en los niveles de amoníaco en rumen ya que puede reducir las necesidades de proteína degradable en rumen. El reciclaje de urea parece estar relacionado con la cantidad de carbohidratos solubles o altas tasas de fermentación de materia orgánica en rumen (Kennedy y Milligan, 1980), sin embargo, en el presente estudio, la fuente de proteína fue más importante, ya que los ingredientes proteicos de mayor degradabilidad ruminal fueron los que tuvieron una mayor concentración de amoníaco. Es importante señalar que consumos altos de nitrógeno y energía, pueden llevar a que el exceso de nitrógeno absorbido sea excretado en orina y la recirculación de nitrógeno en rumen sea insuficiente para alcanzar las necesidades de un alto nivel de energía (Henning et al., 1993). La cantidad de urea reciclada es menor en dietas altas en proteína degradable en comparación a dietas bajas en proteína degradable, aun cuando la concentración de urea en plasma tiende a ser mayor en cabras alimentadas con dietas altas en proteína degradable (Brun-Bellut et al., 1991). Sin embargo, en el presente trabajo, las dietas con harina de subproductos de pollo tuvieron una menor concentración de amoníaco en rumen, lo que sugiere que aunque hubiera un mayor reciclaje de amoníaco, este podría no ser suficiente para una fermentación óptima de la fibra en el rumen.

Se ha sugerido (Waltz et al., 1989) que suplementos proteicos con una mayor degradabilidad ruminal, en vacas lecheras, producirán una

mayor concentración de AGV totales. El presente trabajo presentó un alto coeficiente de variación (34%) y no se detectaron diferencias. La adición del grano molido en la dieta aumenta su tasa de fermentación y la concentración de AGV totales, pero esto generalmente es acompañado por una reducción en el pH (Orskov, 1986), como ocurrió en el presente trabajo.

Las concentraciones ruminales de los AGV representan el balance entre las tasas de producción y de absorción de cada AGV así como sus interconversiones. Con un pH menor a 7, las tasas de absorción para los distintos AGV son diferentes y por lo tanto no reflejan sus tasas relativas de producción (Owens y Goetsch, 1988). El pH en el presente trabajo fue menor a 7 durante el mayor tiempo de los muestreos, por lo que las concentraciones de AGV encontradas no corresponden a sus tasas de producción.

DIGESTIBILIDAD APARENTE. La digestibilidad de MS y MO fueron similares a las que obtuvieron Hernández et al. (1992) en borregos con una dieta con base en rastrojo de maíz y grano de sorgo. Herrera-Saldana y Huber (1989) comparando cebada y sorgo, tampoco observaron diferencias en vacas en lactación en la digestibilidad de la MS; sin embargo, la digestibilidad de la MO y PC fue mayor con la cebada que con el sorgo. Esto se puede deber a que la proteína del sorgo es más compleja que la de la cebada. Oltjen et al. (1967) reportan una digestibilidad total de 43 y 78% para el sorgo y la cebada, respectivamente, mientras que revisiones de granos individuales (Waldo, 1973; Spicer, 1986) señalan que la proteína del sorgo es 5% menos digestible para el ganado que la proteína de la cebada o del maíz. Hibberd et al. (1982) sugieren que

factores como el tipo de proteína y los taninos limitan la disponibilidad de la PC y el almidón del sorgo en su estado natural; sin embargo, esto puede deberse más a una diferencia entre las tasas de degradación de las proteínas. La tasa de degradación de la proteína de la cebada al ser más rápida provocaría una liberación de aminoácidos, péptidos y/o amoníaco para síntesis de proteína microbiana a una tasa adecuada para una rápida utilización del almidón liberado (Firkins, 1996). Varios autores (Leng y Nolan, 1984; Hoover, 1986) han demostrado que diferentes formas químicas de nitrógeno además del amoníaco (péptidos, aminoácidos) favorecen la digestión de nutrimentos.

La digestibilidad aparente de FDNL fue afectada por la degradabilidad de los ingredientes proteicos. Veen (1986) sugiere que fuentes proteicas con menor degradabilidad ruminal resultaron en una liberación más gradual de $N-NH_3$, péptidos y AGV de cadena ramificada. Por lo tanto, estos factores de crecimiento están disponibles a las bacterias ruminales celulolíticas por un período de tiempo más largo después de la alimentación. Sin embargo, en el presente trabajo, las dietas con harina de subproductos de pollo presentaron una menor digestibilidad aparente de FDNL, lo que podría indicar que en estas dietas la concentración de amoníaco fue limitante para las bacterias celulolíticas, pero sin afectar a la digestibilidad aparente de la MS, MO y PC.

V. EXPERIMENTO 2. EVALUACION DE INGREDIENTES ENERGETICOS Y PROTEICOS CON DIFERENTE DEGRADABILIDAD RUMINAL EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CABRAS EN LACTACION.

OBJETIVOS. Evaluar el comportamiento productivo de cabras Granadinas alimentadas con raciones elaboradas con ingredientes conteniendo energía y proteína de lenta y rápida degradación ruminal.

MATERIALES Y METODOS

LUGAR. El experimento se realizó en el mismo lugar mencionado en el experimento 1.

ANIMALES EXPERIMENTALES. Se utilizaron 12 cabras de raza Granadina con 31 días en lactación, 10 multíparas y 2 primíparas, una de las cuales se descartó por baja producción, con un peso inicial promedio de $36.0 \text{ kg} \pm 6.2$. Los animales fueron desparasitados 15 días antes del inicio del experimento contra parásitos internos con clorhidrato de levamisol (Ripercol L 12%, 1 ml/20 kg de peso vivo, vía intramuscular) y vitaminados intramuscularmente con vitamina A, D y E.

MANEJO. El período de evaluación consistió de 13 semanas, de las cuales la primera fue de adaptación a las dietas y a las instalaciones. Durante este período, las cabras se mantuvieron en corraletas individuales como las descritas en el Experimento 1.

ALIMENTACION. Las cabras fueron alimentadas con raciones integrales a las 0900 h diariamente en cantidades suficientes para obtener entre 5 y 10% de rechazo. Las dietas fueron las mismas del experimento anterior (Cuadro 2).

Las cantidades de alimento ofrecido y rechazado fueron registradas diariamente. El alimento y los rechazos fueron muestreados semanalmente y conservados en refrigeración para su posterior análisis de MS y PC (AOAC, 1980) y FDN (Van Soest et al., 1991). El contenido de CNE se calculó utilizando la siguiente fórmula: $100 - [\text{proteína cruda} + (\text{FDN} - \text{proteína en FDN}) + \text{extracto etéreo} + \text{cenizas}]$ (Van Soest et al., 1991). Los contenidos de PDR y CNE degradables en rumen (CNEDR) se determinaron en el primer experimento. El consumo de materia seca y nutrimentos se calculó como la diferencia entre el alimento ofrecido menos el rechazado.

VARIABLES DE RESPUESTA:

Consumo de MS, PC, FDN, CNE, PDR Y CNEDR

Producción de leche total y corregida al 4% de grasa.

Composición de la leche: grasa, proteína, sólidos totales.

Cambio de peso corporal.

PRODUCCION DE LECHE. Las cabras fueron ordeñadas diariamente a las 0800 h. La producción de leche fue medida una vez a la semana y se tomaron muestras para determinar el contenido de proteína

y grasa (AOAC, 1980). La cantidad de sólidos totales (ST) se determinó con la siguiente fórmula (AOAC, 1990):

$$ST = 1.21 (\% \text{ grasa}) + 0.25 (\text{grados lactodensimétricos}).$$

La producción de leche corregida al 4% de grasa (LCG) se calculó mediante la fórmula (NRC, 1989): $LCG = (0.4 \times \text{kg leche}) + (15 \times \text{kg grasa})$.

PESO CORPORAL. Para determinar el cambio de peso corporal, las cabras se pesaron antes del ofrecimiento de alimento por 2 d consecutivos al inicio, a las semanas cuatro y ocho, y a la conclusión del período experimental. Los pesajes se realizaron sin ayuno previo.

DISEÑO EXPERIMENTAL. Las variables de consumo de MS y nutrientes y cambio de peso corporal por periodos de 28 días fueron analizadas según modelo para un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial 2x2, con parcelas divididas (periodos como observaciones repetidas):

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + P_j + (GP)_{ij} + A_{(ij)k} + S_l + (GS)_{il} + (PS)_{jl} + (GPS)_{ijl} + (AS)_{(ij)kl}$$

donde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta en la *i*ésima fuente de grano de la *j*ésima fuente de proteína, de la *k*ésima cabra, en el *l*ésimo período.

μ = Media general.

G_i = Efecto de la *i*ésima fuente de grano.

P_j = Efecto de la *j*ésima fuente de proteína.

$(GP)_{ij}$ = Efecto de la interacción de la *i*ésima fuente de grano con la *j*ésima fuente de proteína.

$A_{(ij)k}$ = Error asociado con la cabra késima, dentro la iésima fuente de grano de la jésima fuente de proteína (término de error para los factores de la parcela grande).

S_i = Efecto del iésimo período de evaluación.

$(GS)_{ij}$ = Efecto de la interacción de la iésima fuente de grano con el iésimo período de evaluación.

$(PS)_{ji}$ = Efecto de la interacción entre la jésima fuente de proteína con el iésimo período de evaluación.

$(GPS)_{iji}$ = Efecto de la interacción de la iésima fuente de grano con la jésima fuente de proteína con el iésimo período de evaluación.

$(AS)_{(ij)kl}$ = Efecto del késimo animal del iésimo período dentro de la iésima fuente de grano de la jésima fuente de proteína (término de error para los factores de la parcela chica).

Los datos de las variables de producción promedio por período de leche normal y corregida al 4%, así como sus componentes fueron analizados con el mismo diseño anterior, excepto que se utilizó la producción de leche una semana antes del inicio del experimento como covariable. El modelo se muestra a continuación:

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + P_j + (GP)_{ij} + \beta(X_{ijk} - X) + A_{(ij)k} + S_i + (GS)_{ij} + (PS)_{ji} + (GPS)_{iji} + (AS)_{(ij)kl}$$

donde los factores se definieron en el modelo anterior, y:

$\beta(X_{ijk} - X)$ = coeficiente de regresión para la covariable X desviada de su media.

RESULTADOS

Los resultados de los promedios de los tres períodos de evaluación de consumo de alimento, producción de leche y cambio de peso corporal se muestran en el Cuadro 13. Cuando se presentó una interacción entre los períodos de evaluación y los factores de estudio (fuente de grano o de proteína o su interacción), los resultados se presentan además en gráficas.

El consumo de materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro por periodo (figuras 8, 9, 10) analizado como porcentaje del peso vivo, tuvo una interacción ($p < 0.05$) entre la fuente de proteína y los períodos, observándose un menor consumo en las cabras alimentadas con las dietas con harina de subproductos de pollo en el período 3, que las que consumieron pasta de soya.

En el consumo de carbohidratos no estructurales se observó una interacción entre los períodos, la fuente de grano y la fuente de proteína, debido a que las cabras alimentadas con la dietas basadas en PS, tuvieron una tendencia ($p < 0.10$) a un mayor consumo cuando se combinaron con sorgo que con cebada en los períodos 2 y 3 de evaluación (figura 11).

El consumo de proteína degradable en el rumen fue mayor ($p < 0.01$) en las cabras alimentadas con las dietas de pasta de soya (0.29%) que en las que se alimentaron con harina de subproductos de pollo (0.13%) en los tres períodos de evaluación (cuadro 13).

El consumo de CNEDR (cuadro 13) fue mayor ($p < 0.05$) en los animales alimentados con las dietas con base en cebada (0.47%) que en los que se alimentaron de sorgo (0.44%), pero también ($p < 0.01$) en los animales que consumieron las dietas con base en pasta de soya (0.52%) que en a los alimentados con harina de subproductos de pollo (0.39%).

La producción de leche normal (cuadro 13) no fue afectada ($p>0.15$) por la fuente de grano o fuente de proteína o su interacción con los períodos; sin embargo, la producción de leche corregida presentó (figura 12) una interacción ($p<0.05$) entre los períodos de evaluación, la fuente de grano y la fuente de proteína; en el período 3, cuando las cabras alimentadas con las dietas basadas en PS se combinaron con sorgo tuvieron una mayor producción (830 g/d) que cuando se combinaron con cebada (496 g/d); en cambio, cuando las dietas conteniendo HSP se combinaron con sorgo, estas tuvieron una menor producción (444 g/d) que cuando se combinaron con cebada (757 g/d).

La composición de la leche presentó una interacción entre la fuente de grano y la fuente de proteína (cuadro 13). Cuando la cebada se combinó con la PS presentó la menor concentración de grasa, proteína cruda y sólidos totales (4.74, 3.76 y 12.8%, respectivamente) que cuando se combinó con HSP (5.62, 4.32 Y 13.8%, respectivamente).

El cambio de peso corporal presentó una interacción ($p<0.05$) entre el período y la fuente de grano (figura 13), observándose que los animales que consumieron las dietas con base en cebada tuvieron pérdida de peso en el período 2 (-0.39 kg/período), mientras que los animales que consumieron las dietas basadas en sorgo, tuvieron ganancias en el mismo período evaluado (2.28 kg/período).

Cuadro 13. Promedio de mínimos cuadrados del consumo de alimento y nutrientes, la producción y composición de la leche y cambio de peso corporal de cabras Granadinas.

	DIETA ^a				Efecto (p<) ^y			
	S-PS	S-HSP	C-PS	C-HSP	EEM	Gr	Pr	Gr x Pr
Consumo de MS g/d	1286	1324	1227	1194	60	0.19	0.72	0.54
Consumo de nutrientes ^z								
MS, % del peso vivo	3.73	3.29	3.50	3.21	0.14	0.23	0.10	0.57
PC, % del peso vivo	0.49	0.42	0.46	0.43	0.02	0.57	0.26	0.17
FDN, % del peso vivo	1.82	1.85	1.95	1.85	0.07	0.36	0.17	0.55
CNE, % del peso vivo	1.09	0.73	0.73	0.62	0.04	0.07	0.05	0.76
PDR, % del peso vivo	0.29	0.12	0.29	0.13	0.01	0.41	0.01	0.23
CNEDR, % del peso vivo	0.50	0.38	0.54	0.41	0.02	0.05	0.01	0.42
Producción de leche (g/d)								
Normal	634	542	582	608	31	0.74	0.42	0.65
Corregida al 4%	768	668	621	811	35	0.47	0.65	0.06
Composición de la leche (%)								
Grasa	5.39	5.87	4.74	5.62	0.23	0.01	0.01	0.43
PC (N x 6.38)	4.43	4.53	3.76	4.32	0.11	0.01	0.04	0.01
Sólidos totales	13.70	14.20	12.80	13.80	0.27	0.01	0.01	0.40
Cambio de peso corporal (kg/28 d)	1.03	1.36	0.53	-0.39	1.79	0.07	0.60	0.28

^aS, sorgo; C, cebada; PS, pasta de soya; HSP, harina de subproducto de pollo.

^y Gr, efecto del grano; Pr, efecto del ingrediente proteico; Gr x Pr, interacción del grano por el ingrediente proteico.

^z PC, proteína cruda; FDN, fibra detergente neutro; CNE, carbohidratos no estructurales; PDR, proteína degradable en rumen; CNEDR, carbohidratos no estructurales degradables en rumen.

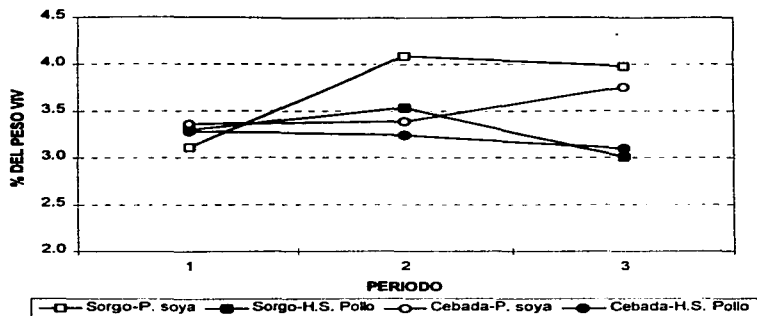


Figura 8. Consumo de materia seca, como porcentaje del peso vivo, de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.

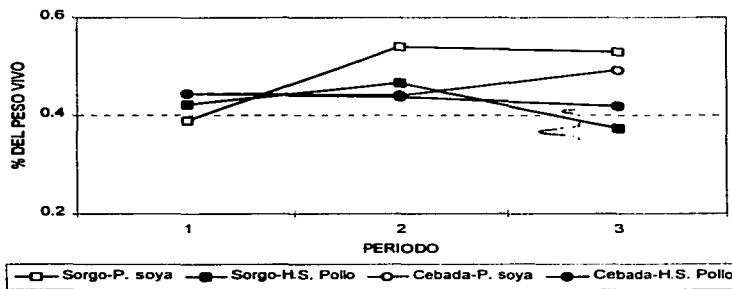


Figura 9. Consumo de proteína cruda, como porcentaje del peso vivo, de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.

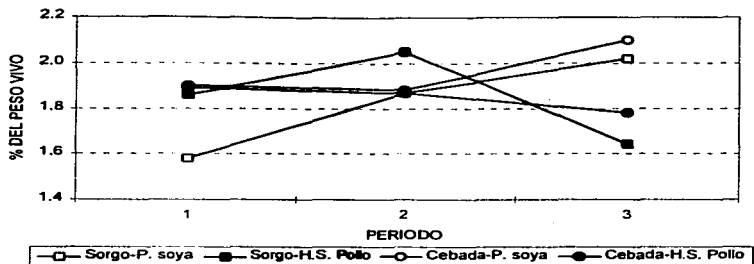


Figura 10. Consumo de fibra detergente neutro, como porcentaje del peso vivo, de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.

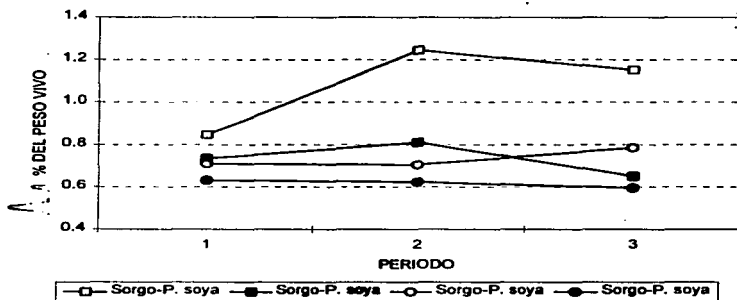


Figura 11. Consumo de carbohidratos no estructurales, como porcentaje del peso vivo, de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.

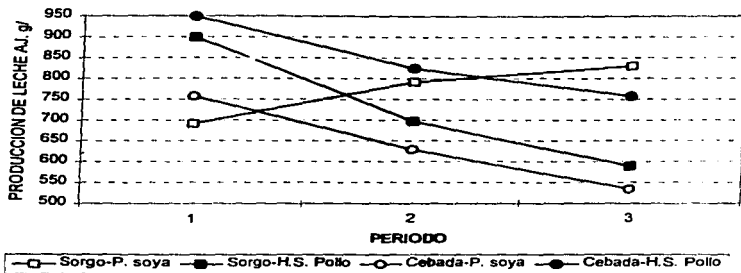


Figura 12. Producción de leche ajustada al 4% de grasa en cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.

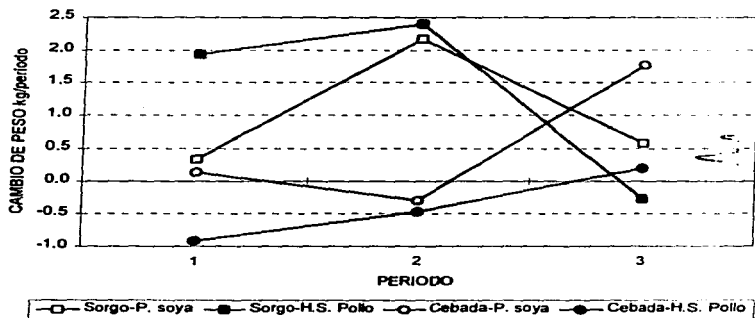


Figura 13. Cambio de peso corporal de cabras alimentadas con dos fuentes de grano y dos fuentes de proteína.

DISCUSION

En el presente trabajo, los animales alimentados con las dietas basadas en subproductos de pollo tuvieron un menor consumo de proteína degradable en rumen y de materia seca en el último periodo de evaluación, que los animales consumiendo pasta de soya. Se han observado reducciones en el consumo de materia seca con dietas deficientes de proteína cruda (Polan et al., 1976; Majdoub, 1978; Clay y Satter, 1979; Claypool et al., 1980; Cowan et al., 1981), así como con dietas deficientes en proteína degradable en rumen (Kung et al., 1983; Santos et al., 1984; Klusmeyer et al., 1990), debido a que una disponibilidad insuficiente de N relativa a la energía limita el crecimiento microbial y puede llevar a una reducción en la tasa de digestión del forraje, y en la digestibilidad total de la dieta (Oldham, 1984), como se observó en el presente trabajo (cuadros 7 y 12). Aún y cuando el tiempo de residencia en rumen aumente con ingredientes de lenta degradación, se observa una reducción en la digestibilidad total de la dieta y en el consumo con dietas con partícula pequeña (Orskov, 1988).

Al igual que en este trabajo, otros autores (DePeters y Taylor, 1985; Herrera-Saldana y Huber, 1989; Gring et al., 1992), pero trabajando con vacas en lactación, no encontraron diferencia en el consumo de alimentos en dietas basadas en cebada; sin embargo, algunos autores han reportado una disminución en el consumo de alimento cuando la cebada es el principal grano en la dieta (McCarthy et al., 1989; Casper y Schingoethe, 1990; Casper et al., 1990; Khorasani et al., 1994;) sin que se entienda completamente las razones de esta disminución. Se ha sugerido que

niveles excesivos de almidón degradable en rumen pueden provocar acidosis subclínica, disminuyendo la digestibilidad de la fibra y reduciendo el consumo (Britton y Stock, 1986). En el experimento 1 se observó mayor degradabilidad real de la cebada (cuadro 5), pero un pH igual (figura 1), pero otros factores pudieran estar implicados, como el nivel y composición de la fibra, la fuente de almidón, tamaño del rumen o estado fisiológico del animal (Allen, 1996).

La producción de leche corregida al 4% fue menor para las cabras alimentadas con las dietas C-PS y S-HSP en el P3. La menor producción con la dieta C-PS se pudo deber en parte a problemas de acidosis subclínica, aunque el pH determinado en el primer experimento no fue diferente al resto de las dietas, el nivel de alimentación fue diferente en este experimento, lo que pudo haber provocado el problema de acidosis. Niveles mayores de alimentación generalmente resultan en una disminución en el pH ruminal (Hungate, 1966; Fulton et al., 1979). La menor producción de leche corregida en la dieta S-HSP, probablemente se debió a una menor síntesis microbiana, o una menor calidad de la proteína, tanto del sorgo como de la harina de subproductos de pollo, o una combinación de ambas, que limitó la cantidad de proteína absorbida disponible para la síntesis de leche. Ambos ingredientes presentaron una menor digestibilidad aparente de la proteína (cuadro 12). Clark et al. (1992) señalan que cuando la pasta de soya es reemplazada por un suplemento con baja degradabilidad ruminal, como la harina de subproductos de pollo, puede existir un incremento en el flujo de proteína del alimento al intestino delgado; pero al mismo tiempo, se puede provocar una disminución en la síntesis de proteína microbiana y, consecuentemente,

en el flujo de ésta última al duodeno. El resultado final, puede ser una reducción en el flujo total de proteína (la suma de proteína microbiana más proteína no degradada del alimento) cuando se utiliza el suplemento de baja degradabilidad. En contraste, Herrera-Saldana y Huber (1989) no encontraron diferencias en producción de leche en vacas lecheras alimentadas con dietas preparadas con ingredientes de alta degradabilidad ruminal (cebada y harinolina) en raciones basales de heno de alfalfa y cascarilla de algodón. Ellos atribuyeron esta respuesta a una sincronización en la liberación de energía y proteína en el rumen y por lo tanto, a una mayor síntesis microbiana un consumo mayor con esa dieta y por lo tanto un mayor aporte de nutrimentos a un incremento en la masa microbiana del rumen y, consecuentemente, a un mayor aporte de proteína y energía al animal.

Adicionalmente, los animales que consumieron la dieta C-PS, presentaron la menor concentración de grasa, debido probablemente a la presencia de problemas subclínicos de acidosis que podrían disminuir la digestión de la fibra, la producción de acetato y por tanto la síntesis de grasa. Esta dieta presentó una tendencia a una menor proporción molar de acetato (figura 4), principal precursor de la grasa de la leche. Otros autores (DePeters y Taylor, 1985; McCarthy et al, 1989; Casper et al., 1990), al igual que en el presente trabajo, han encontrado una disminución en el porcentaje de grasa en vacas alimentadas con cebada, en comparación a otros granos de menor degradabilidad (sorgo o maíz) debido a una disminución en la síntesis de novo de ácidos grasos, ya que con una mayor producción de AGV asociada a la cebada, tienden a disminuir la incorporación directa de ácidos grasos de la dieta en la grasa de la leche.

En el presente trabajo, la dieta C-PS tuvo un menor porcentaje de proteína cruda debido posiblemente a un menor flujo de proteína al intestino delgado y por tanto una menor absorción de aminoácidos para la síntesis de leche. Estudios con cabras (Ranawana y Kellaway, 1977) y con vacas lecheras (Vil-Mo et al., 1974a, b; Clark et al., 1977) demostraron que los porcentajes y producciones de proteína en leche se incrementaron por infusiones abomasales de caseína, pero no de glucosa, sugiriendo que el incremento en la producción de proteína de la leche fue el resultado de una mayor cantidad y disponibilidad de aminoácidos a nivel intestinal. Por otra parte, se ha demostrado que ingredientes proteicos muy degradables a nivel ruminal, como la urea, disminuyen el porcentaje de proteína en la leche (Casper et al., 1990).

En contraste, algunos trabajos han mostrado que la producción y concentración de proteína de la leche se ha incrementado al aumentar el abastecimiento de energía fermentable en rumen (Emery, 1978), con o sin amortiguador (Moore et al, 1992). Wu et al. (1994) demostraron que la infusión ruminal de glucosa resultó en un incremento en la concentración de proteína en la leche en comparación a infusiones isocalóricas de propionato en el duodeno, sugiriendo que un incremento en la síntesis de proteína microbiana aumenta el porcentaje de proteína microbiana y no el incremento en la disponibilidad de propionato para gluconeogénesis.

Los animales alimentados con cebada tuvieron una menor ganancia de peso corporal durante el período dos (pérdidas de peso de la semana 4 a la 8). Se ha demostrado (Ranawana y Kellaway, 1977; Whitelaw et al., 1986) que vacas y cabras en el pico de lactación tienen la capacidad para movilizar grasa corporal, para alcanzar los altos requerimientos

energéticos, cuando se incrementa la proporción de proteína no degradable en rumen en la dieta, o con la infusión de caseína en abomaso, lo que sugiere que las cabras alimentadas con cebada, debido al probable problema de acidosis subclínica y menor síntesis microbial, tuvieron que movilizar sus reservas corporales para sostener la producción láctea. Las cabras alimentadas con la dieta S-PS presentaron la mayor relación acetato:propionato (figura 7). En general, las dietas que resultan en una relación baja de acetato:propionato provocan un incremento en la formación de grasa corporal, a expensas de la síntesis microbial, acompañado ocasionalmente por un incremento modesto en la proteína de la leche (NRC, 1989).

VI. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente experimento, la tasa de digestión o cantidad de CNEDR no tuvieron efectos en la digestión de la FDN, pero la dieta con los ingredientes de mayor degradabilidad ruminal (C-PS) afectaron la producción y composición de la leche.

La tasa de digestión o cantidad de PDR tuvieron efectos en la tasa de digestión y en la digestibilidad total de la FDN, siendo menores para las dietas con HSP, y la combinación de los ingrediente de menor degradabilidad ruminal (S-HSP) afectaron la producción de leche.

No existió efecto de una sincronización de ingredientes de rápida o lenta degradación con las dietas utilizadas, tanto en la digestión de la FDN, como en variables de producción de leche.

VII. REFERENCIAS

- Agricultural and food research council. 1987. AFRC technical committee on responses to nutrients report number 2, characterisation of feedstuffs: Nitrogen. Nutrition abstracts and reviews. 57(12) 713.**
- Agricultural and food research council. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC technical committee on responses to nutrients. CABN International, Wallingford, U.K.**
- Agricultural research council. 1984. The nutrient requirements of ruminant livestock. Supplement No 1. Report of the protein group of the ARC working party, Commonwealth Agricultural Bureau, Ranham Roy, UK.**
- Albrecht, K.A., W.F. Wedin, D.R. Buxton. 1987. Cell-wall composition and digestibility of alfalfa stems and leaves. Crop Sci. 27:735.**
- Aldrich, J.M., L.D. Muller, G.A. Varga, L.C. Griel, Jr. 1993. Nonstructural carbohydrate and protein effects on rumen fermentation, nutrient flow, and performance of dairy cows. J. Dairy Sci. 76:1091.**
- Allen, M.S. 1996. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. J. Anim. Sci. 74:3063.**
- Allen, S.A., E.L. Miller. 1976. Determination of nitrogen requirements for microbial growth from the effect of urea supplementation of a low N diet on abomasal N flow and N recycling in wethers and lambs. Br. J. Nutr. 36:353.**
- Andrighetto, I., L. Bailoni. 1994. Effect of different animal protein sources on digestive and metabolic parameters and milk production in dairy goats. Small Rumin. Res. 13:127.**
- Argyle, J.L., R.L. Baldwin. 1989. Effects of amino acids and peptides on rumen microbial growth yields. J. Dairy Sci. 72:2017.**

- Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 16th ed. AOAC, Arlington, USA.**
- Association of Official Analytical Chemists. 1980. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, 13th ed. AOAC, Washington, DC.**
- Baldwin, R.L., M.J. Allison. 1983. Rumen metabolism. J. Anim. Sci. 57(Suppl. 2):461.**
- Baldwin, R.L. S.C. Dehham. 1979. Quantitative and dynamic aspects of nitrogen metabolism in the rumen. A modeling analysis. J. Anim. Sci. 49:1631.**
- Britton, R.A., R.A. Stock. 1986. Acidosis, rate of starch digestion and intake. En: Agricultural Experiment Station Oklahoma State University (Ed.) Symposium proceedings: Feed intake by beef cattle.**
- Brunt-Bellut J., J.M. Kelly, G.W. Mathison, R.J. Christoperson. 1991. Effect of rumen degraded protein and lactation on nitrogen metabolism in dairy goats. Can. J. Anim. Sci. 71:1111.**
- Bryant, M.P. 1973. Nutritional requirements of the predominant rumen cellulolytic bacteria. Fed. Proc. 32:1809.**
- Casper, D.P., D.J. Schingoethe. 1989. Lactational responses of early lactation dairy cows to diets varying in ruminal solubilities of carbohydrate and crude protein. J. Dairy Sci. 72:928.**
- Casper, D.P., D.J. Schingoethe, W.A. Eisenbeiz. 1990. Response of early lactation dairy cows fed diets varying in source of nonstructural carbohydrate and crude protein. J. Dairy Sci. 73:1039.**
- Chalupa, W., C.J. Sniffen. 1996. Protein and amino acid nutrition of lactating dairy cattle -today and tomorrow. Anim. Feed Sci. Tech. 58:65.**

- Cheng, K.J., C.S. Stewart, D. Dinsdale, W.T. Costerto. 1984. Electron microscopic of bacteria involved in the digestion of plant cell walls. *Anim. Feed Sci. Tech.* 10 :93.
- Chesson, A.. 1981. Effects of sodium hydroxide on cereal straws in relation to the enhanced degradation of structural polysaccharides by rumen microorganisms. *J. Sci. Food Agric.* 32 :745.
- Clark, J.H., H.R. Spires, R.G. Derrig, M.R. Bennink. 1977. Milk production, nitrogen utilization and glucose synthesis in lactating cows infused posturally with sodium caseinate and glucose. *J. Nutr.* 107:631.
- Clark, J.H., T.H. Klusmeyer, M.R. Cameron. 1992. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:2304.
- Clark, J.H., C.L. Davis. 1983. Future improvement on milk production: potential for nutritional improvement. *J. Anim. Sci.* 57:750.
- Clay, A.B., L.D. Satter. 1979. Milk production response to dietary protein and methionine hydroxy-analog. *J. Dairy Sci.* 66 (suppl. 1):75.
- Claypool, D.W., M.C. Pangborn, H.P. Adams. 1980. Effecto of dietary protein on high-producing dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 63:833.
- Cotta, M.A., J.B. Russell. 1982. The effect of peptides and amino acids on efficiency of rumen bacterial protein synthesis in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 65:226.
- Cowan, R.T., J.J. Robinson, I. McHattie, K. Pennie. 1981. Effects of protein concentration in the diet on milk yield, change in body composition and the efficiency of utilization of body tissue for milk production in ewes. *Anim. Prod.* 33:111.

- deFaria, V.P., J.T. Huber. 1984. Effect of dietary protein and energy levels on rumen fermentation in Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 58:452.
- Deohority, B.A. 1993. Microbial ecology of cell wall fermentation. En: H.G. Jung, D.R. Buxton, R.D. Hatfield, J. Ralph (ed). Forage cell wall structure and digestibility. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, E.U.A.
- DePeters E.J., S.J. Taylor. 1985. Effects of feeding corn or barley on composition of milk and diet digestibility. *J. Dairy Sci.* 68:2027.
- Edwards, J.S., E.E. Bartley. 1979. Soybean meal or starea for microbial synthesis or milk production with rations above thirteen percent natural protein. *J. Dairy Sci.* 62:732.
- Ellis, W.C., J.H. Matis, C. Lascano. 1979. Quantitating ruminal turnover. *Federation Proc.* 38:2702.
- Emery, R.S. 1978. Feeding for increased milk protein. *J. Dairy Sci.* 61:825.
- Eraso, F., R.D. Hartley. 1990. Monomeric and dimeric phenolic constituents of plant cell walls-possible factors influencing wall biodegradability. *J. Sci. Food Agric.* 51:163.
- Firkins, J.L. 1996. Maximizing microbial protein synthesis in the rumen. *J. Nutr.* 126:1347S.
- Firkins, J.I., L.L. Berger, N.R. Merchen, G.C. Fahey, D.R. Nelson. 1986. Effects of feed intake and protein degradability on ruminal characteristics and site of digestion in steers. *J. Dairy Sci.* 69:2111.
- Fulton, W.R., T.J. Klopfenstein, R.A. Britton. 1979. Adaptation to high concentrate diets by beef cattle. I. Adaptation to corn and wheat diets. *J. Anim. Sci.* 49 :775.

- Fuwa H., Y. Sugimoto, M. Tanaka. 1978. Susceptibility of various starch granules to amylases as seen by scanning electron microscope. Starch 30:186.**
- Galyean, M.L., D.G. Wagner, F.N. Owens. 1979. Corn particle size and site and extent of digestion by steers. J. Anim. Sci. 49:204.**
- Goetsch, A.L., M.L. Galyean. 1983. Ruthenium phenanthroline, Dy and Yb as particulate markers in beef steers fed an all alfalfa hay diet. Nutr. Rep. Int. 27:171.**
- Grant, J.I., W.P. Weiss, E.J. Piwonka. 1992. Digestion kinetics of fiber: influence of in vitro buffer pH varied within observed physiological range. J. Dairy Sci. 75:1060.**
- Grings, E.E., R.E. Foffler, D.P. Deitelhoff. 1992. Evaluation of corn and barley as energy sources for cows in early lactation fed alfalfa-based diets. J. Dairy Sci. 75:193.**
- Ha, J.D., J.J. Kennelly. 1984. In situ dry matter and protein degradation of various protein sources in dairy cattle. Can. J. Anim. Sci. 64:443.**
- Hartnell, G.F., L.D. Satter. 1979. Extent of particulate marker (samarium, lanthanum and cerium) movement from one digesta particle to another. J. Anim. Sci. 48:375.**
- Hatfield, R.D. 1993. Characterization of a pectic fraction from smooth bromegrass cell walls using an endopolygalacturonase. J. Agric. Food Chem. 41:380.**
- Henning, P.H., D.G. Steyn, H.H. Meissner. 1993. Effect of synchronization of energy and nitrogen supply on ruminal characteristics and microbial growth. J. Anim. Sci. 71:2516.**
- Herrera-Saldana, R., J.T. Huber. 1989. Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cows. J. Dairy Sci. 72:1477.**

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- Herrera-Saldana, R.E., R. Gomez-Alarcon, M. Torabi, J.T. Huber. 1990. Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis. *J. Dairy Sci.* 73:142.
- Hespell, R.B. 1988. Microbial digestion of hemicelluloses in the rumen. *Microbiol. Sci.* 5:362.
- Hespell, R.B., M.P. Bryant. 1979. Efficiency of rumen microbial growth: influence of some theoretical and experimental factors on Y_{ATP} . *J. Anim. Sci.* 49:1640.
- Hibberd, C.A., D.G. Wagner, R.L. Schemm, E.D. Mitchell, R.L. Hintz, 1982. Nutritive characteristics of different sorghum and corn grains. *J. Anim. Sci.* 55:665.
- Hoover, W.H., R.J. Crawford, Jr., M.D. Stern. 1982. Effects of solids and liquid flows on fermentation in continuous cultures. III. Solids retention time. *J. Anim. Sci.* 54:849.
- Hoover, W.H. 1986. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *J. Dairy Sci.* 69:2755.
- Hoover, W.H., S.R. Stokes. 1991. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *J. Dairy Sci.* 74:3630-3644.
- Hungate, R.E. 1966. The rumen and its microbes. Academic Press, New York, NY.
- Hussein, H.S., M.R. Cameron, G.C. Fahey, Jr, N.R. Merche, J.H. Clark. 1995. Influence of altering ruminal degradation of soybean meal protein on in situ ruminal fiber disappearance of forages and fibrous byproducts. *J. Anim. Sci.* 73:2428.

- Huston, J.E., B.S. Rector, W.C. Ellis, M.L. Allen. 1986. Dynamics of digestion in cattle, sheep, goats and deer. *J. Anim. Sci.* 62:208.
- Jung, H.G., M.S. Allen. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 73:2774.
- Jung, H.G., D.D. Deetz. 1993. Cell wall lignification and degradability. In: H.G. Jung, D.R. Buxton, R.D. Hatfield, J. Ralph (ed). *Forage cell wall structure and digestibility*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, E.U.A.
- Kennedy, P.M., L.P. Milligan. 1980. The degradation and utilization of endogenous urea in the gastrointestinal tract of ruminants: a review. *Can. J. Anim. Sci.* 60:205.
- Kennedy, J.F., C.A. White. 1983. *Bioactive carbohydrates in chemistry, biochemistry and biology*. Ellis Horwood Limited: Chichester West Sussex, England.
- Khorasani, G.R., G. De Boer, B. Robison, J.J. Kennely. 1994. Influence of dietary protein and starch on production and metabolic responses of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:813.
- Klusmeyer, T.H., R.D. McCarthy, Jr., J.H. Clark, D.R. Nelson. 1990. Effects of source and amount of protein on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 73:3526.
- Krishnamoorthy, U.C., T.V. Muscato, C.J. Sniffen, P.J. Van Soest. 1983. Nitrogen fractions in selected feedstuffs. *J. Dairy Sci.* 65:217.
- Kung, L., Jr., J.T. Huber, L.D. Satter. 1983. Influence of nonprotein nitrogen and protein of low rumen degradability on nitrogen flow and utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 66:1863.

- Leedle, J.A.Z., K. Barsuhn, R.B. Hespell. 1986. Post-prandial trends in estimated ruminal digesta polysaccharides and their relation to changes in bacterial groups and ruminal fluid characteristics. J. Anim. Sci. 62:789.**
- Leng, R.A., J.V. Nolan. 1984. Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 67:1072.**
- Lenninger A.L. 1985. Bioquímica. Ed. Omega, S.A. Barcelona, España.**
- Loerch, S.C., L.L. Berger, S.D. Plegge, G.C. Fahey, Jr. 1983. Digestibility and rumen escape of soybean meal, blood meal, meat and bone meal and dehydrated alfalfa nitrogen. J. Anim. Sci. 57:1037.**
- Majdoub, A., G.T. Lane, T.E. Aitchison. 1978. Milk production response to nitrogen solubility in dairy rations. J. Dairy Sci. 61:59.**
- Manners, D.J. 1985. Some aspect of the structure of starch. Cereal Food World 30:461.**
- Matras J., S.J. Bartle, R.L. Preston. 1991. Nitrogen utilization in growing lambs: effects of grain (starch) and protein sources with various rates of ruminal degradation. J. Anim. Sci. 69:339.**
- McAllister, T.A., H.D. Bac, G.A. Jones, K.J. Cheng. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. J. Anim. Sci. 72:3004.**
- McAllister, T.A., R.C. Phillippe, L.M. Rode, K.J. Cheng. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. J. Anim. Sci. 71:205.**
- McAllister, T.A., K.J. Cheng, L.M. Rode, J.G. Buchanan-Smith. 1990. Use of formaldehyde to regulate digestion of barley starch. Can. J. Anim. Sci. 70:581.**

- McCarthy, R.D., Jr., T.H. Klusmeyer, J.L. Vicini, J.H. Clark, D.R. Nelson. 1989. Effects of source of protein and carbohydrate on ruminal fermentation and passage of nutrient to the small intestine of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 72:2002.
- McDonald, I. 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 96:251.
- Mehrez, A.Z., E.R. Orskov, I. McDonald. 1977. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *Br. J. Nutr.* 38:437.
- Mendoza M., G.D., R. Ricalde V. 1993. Alimentación de ganado bovino con dietas altas en granos. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Mertens, D.R., R. Loften. 1980. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics in vitro. *J. Dairy Sci.* 63:1437.
- Milne, J.A., A. Christie , A.J.F. Russel. 1979. The effects of nitrogen and energy supplements on the voluntary intake and digestion of heather by sheep. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 92:635.
- Moore, K.D., R.D. Hatfield. 1994. Carbohydrates and forage quality. En: G.C. Fahey, Jr., M. Collins, D.R. Mertens, L.E. Moser (Ed). *Forage Quality, evaluation and utilization.* ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, E.U.A.
- Moore, J.A., M.H. Poore, R.S. Swingle. 1990. Influence of roughage source on kinetics of digestion and passage, and on calculated extents of ruminal digestion in beef steers fed 65% concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 68:3412.
- Moore, J.A., M.H. Poore, T.P. Eck, R.S. Swingle, J.T. Huber, M.J. Arana. 1992. Sorghum grain processing and buffer addition for early lactation cows. *J. Dairy Sci.* 75:3465.
- Morrison, I.M. 1979. Carbohydrate chemistry and rumen digestion. *Proc. Nutr. Soc.* 38:269.

- National Research Council. 1981. Nutrient requirements of goats. Natl. Acad. Sci., Washington, D.C.**
- National Research Council. 1984. Nutrient requirements of beef cattle. 6th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, D.C.**
- National Research Council. 1985. Ruminant nitrogen usage ed. Natl. Acad. Sci, Washington, D.C.**
- National Research Council. 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. 6th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, D.C.**
- Nocek, J.E., J.H. Herbein, C.E. Polan. 1983. Total amino acid release rate of soluble and insoluble protein fractions and concentrate feedstuffs by *Streptomyces griseus*. J. Dairy Sci. 66:1663.**
- Nocek, J.E., J.E. English. 1986. In situ degradation kinetics: evaluation of rate determination procedure. J. Dairy Sci. 69:77.**
- Nocek, J.E., J.B. Russell. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. J. Dairy Sci. 71:2070.**
- Nocek, J.E., S. Tamminga. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. J. Dairy Sci. 74:3596.**
- Okorie, A.V., P.J. Buttery, D. Lewis. 1977. Ammonia concentration and protein synthesis in the rumen. Proc. Nutr. Soc. 36:38A.**
- Oldhan, J.D. 1984. Protein-energy interrelationships in dairy cows. J. Dairy Sci. 67:1090.**
- Oltjen, R.R., A.S. Kozak, P.A. Putman, R.P. Lechmann. 1967. Metabolism, plasma amino acid and salivary studies with steers fed corn, wheat, barley and milo all-concentrate ration. J. Anim. Sci. 26:1415.**

- Orskov, E.R., I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 92:49.
- Orskov, E.R. 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1624.
- Orskov, E.R., G.W. Reid, M. Kay. 1988. Prediction of intake by cattle from degradation characteristics of roughages. *Anim. Prod.* 46:29.
- Orskov, E.R., A.Z. Mehrez. 1977. Estimation of extent of protein degradation from basal diets in the rumen of sheep. *Proc. Nut. Soc.* 36:78A.
- Orskov, E.R. 1982. Protein nutrition in ruminants. Academic Press.
- Owens, F.N., R.A. Zinn, Y.K. Kim. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J. Anim. Sci.* 63:1634.
- Owens F.N., A.L. Goetsch. 1988. Ruminal fermentation. En: *The ruminant animal. Digestive physiology and nutrition.* D.C. Church (ed). Prentice Hall, E.U.A.
- Petlan, C.E., C.N. Miller, M.L. McGilliard. 1976. Variable dietary protein and urea for intake and production in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 59:1910.
- Pond, K.R., W.C. Ellis, J.H. Matis, H.M. Ferreiro, J.D. Sutton. 1988. Compartment models for estimating attributes of digesta flow in cattle. *Br. J. Nutr.* 60:571.
- Pontis, H.G., E. Del Campillo. 1985. Fructans. En: P.M. Dey, R.A. Dixon (ed). *Biochemistry of storage carbohydrate in green plants.* Academic Press, New York, E.U.A.

- Poore, M.H., J.A. Moore, R.S. Swingle. 1990. Differential passage rates and digestion of neutral detergent fiber from grain and forages in 30, 60, and 90% concentrate diets fed to steers. *J. Anim. Sci.* 68:2965.
- Poore, M.H., J.A. Moore, T.P. Eck, R.S. Swingle. 1991. Influence of passage model, sampling site, and marker dosing time on passage of rare earth-labeled grain through Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 69:2646.
- Pritchard, R.H., J.R. Males. 1985. Effect of crude protein and ruminal ammonia-N on digestibility and ruminal outflow in beef cattle fed wheat straw. *J. Anim. Sci.* 60:822.
- Quiroz, R.A., K.R. Pond, E.A. Tolley, W.L. Johnson. 1988. Selection among nonlinear models for rate of passage studies in ruminants. *J. Anim. Sci.* 66:2977.
- Ranawana, S.S.E., T.C. Kellaway. 1977. Responses to post-ruminal infusions of glucose and casein in lactating goats. *Br. J. Nutr.* 37:395.
- Rode, L.M., D.C. Weakley, L.D. Satter. 1985. Effect of forage amount and particle size in diets of lactating cows on site of digestion and microbial protein synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 65:101.
- Rodríguez G.F. Llamas L. G. 1990. Digestibilidad, balance de nutrimentos, y patrones de fermentación ruminal. En: Manual de técnicas de investigación en rumiología. Ed. Castellanos R.A., Llamas L. A. y Shimada A.S. Sistema de educación continua en producción animal en México, A.C.
- Rooney, L.W., R.L. Pflugfelder. 1986. Factor affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* 63:1607.
- Russell, J.B., H.J. Strobel. Concentration of ammonia across cell membranes of mixed rumen bacteria. *J. Dairy Sci.* 70:970.

- Russell, J.B., H.J. Strobel. 1993. Microbial energetics. En: Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. J.M. Forbes, J. France (ed). CAB International, Wallingford, UK.
- Russell, J.B., C.J. Sniffen. 1984. Effect of carbon 4 and carbon 5 volatile fatty acids on growth of mixed rumen bacteria in vitro. J. Dairy Sci. 67:987.
- Russell, J.B., C.J. Sniffen, P.J. Van Soest. 1983. Effect of carbohydrate limitation on degradation and utilization of casein by mixed rumen bacteria. J. Dairy Sci. 66:763.
- Russell, J.B., J.D. O'Connor, D.G. Fox, P.J. Van Soest, C.J. Sniffen. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. J. Anim. Sci. 70:3551.
- Sandstedt, R.M., D. Strahan, S. Veda, R.L. Abbot. 1962. The digestibility of high amylose corn starches compared to that of other starches. The apparent effect of the ae gene on susceptibility to amylase action. Cereal Chem. 39:123.
- Santos, K.A., M.D. Stern, L.D. Satter. 1984. Protein degradation in the rumen and amino acid absorption in the small intestine of lactating dairy cattle fed various protein sources. J. Anim. Sci. 58:244.
- SAS. 1988. SAS/STAT User's Guide: (Release 6.03). SAS Inst. Inc., Cary, NC., USA.
- Satter, L.D., L.L. Slyter. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. Br. J. Nutr. 32:199.
- Schaefer, D.M., C.L. Davis, M.P. Bryant. 1980. Ammonia saturation constants for predominant species of rumen bacteria. J. Dairy Sci. 63:1248.
- Siddons, R.C., Nolan, J.V., Beever, D.E., MacRae, J.C. 1985. Nitrogen digestion and metabolism in sheep consuming diets containing forms and level of N. Br. J. Nutr. 54:175.

- Silanikove, N. H. Tagari, A. Shkolnik. 1993. Comparison of rate of passage, fermentation rate and efficiency of digestion of high fiber diet in eser Bedouin goats compared to Swiss Saanen goats. *Smal Rum. Res.* 12 :45.
- Sinclair L.A., P.C. Garnsworthy, J.R. Newbold, P.J. Buttery. 1995. Effect of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release in diets with a similar carbohydrate composition on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci. (Camb.)*. 124:463.
- Sinclair L.A., P.C. Garnsworthy, J.R. Newbold, 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. (Camb.)*. 120:251.
- Slyter, L.L., L.D. Satter, D.A. Dimus. 1979. Effect of ruminal ammonia concentration on nitrogen utilization by steers. *J. Anim. Sci.* 48:906.
- Smith, L. W., H.K. Goering, D.R. Waldo, D.H. Gordon. 1971. In vitro digestion rate of forage cell wall components. *J. Dairy Sci.* 54:71.
- Smith, R.H. 1989. Nitrogen metabolism in the ruminant stomach. En: Protein metabolism in farm animals: Evaluation, digestion, absorption, and metabolism. H.D. Bock, B.O. Eggum, A.G. Low, O. Simon, T. Zebrowska (Eds.). Oxford University Press, Berlin.
- Sniffen, C.J., J.D. O'Connor, P.J. Van Soest, D.G. Fox, J.B. Russell. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70:3562.
- Soria, R.L., R. Aveldaño y L. Ortiz. 1987. Levantamiento fisiográfico del estado de Querétaro. CIFAP-GUANAJUATO. INIFAP-SARH.

- Spicer, L.A., C.B. Theurer, J. Sowe, T.H. Noon. 1986. Ruminant and post-ruminal utilization of nitrogen and starch from sorghum grain-, corn- and barley-based diets by beef steers. J. Anim. Sci. 62:521.**
- Stern, M.D., W.H. Hoover. 1979. Methods for determining and factors affecting rumen microbial protein synthesis: a review. J. Anim. Sci. 49:1590.**
- Stern, M.D., G.A. Varga, J.H. Clark, J.L. Firkins, J.T. Huber, D.L. Palmquist. 1994. Evaluation of chemical and physical properties of feeds that affect protein metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 77:2762.**
- Stokes S.R., W.H. Hoover, T.K. Miller, R. Baluweikel. 1991. Ruminant digestion and microbial utilization of diets varying in type of carbohydrate and protein. J. Dairy Sci. 74:871.**
- Sultan, J.L., J.L. Firkins, W.P. Weiss, S.C. Loerch. 1992. Effects of energy level and protein source on nitrogen kinetics in steers fed wheat straw-based diets. J. Anim. Sci. 70:3916.**
- Tejada H.I. 1992. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. Sistema de Educación Continua en Producción Animal, A.C. México, D.F.**
- Theurer, C.B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. J. Anim. Sci. 63:1649.**
- Uden P., P.E. Colucci, P.J. Van Soest. 1980. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta rate of passage studies. J. Sci. Food Agric. 31:625.**
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson, B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74:3583.**

- Van Soest, P.J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. O & B Books, Inc.**
- Van Soest, P.J. 1973. The uniformity and nutritive availability of cellulose. Fed. Proc. 32:1804.**
- Varga, G.A., W.H. Hoover. 1983. Rate and extent of neutral detergent fiber degradation of feedstuffs in situ. J. Dairy Sci. 66 :2109.**
- Veen, W.A.G. 1986. The influence of slowly and rapidly degradable concentrate protein on a number of rumen parameters in dairy cattle. Neth. J. Agric. Sci. 34:199.**
- Vik-Mo, L.R., R.S. Emery, J.T. Huber. 1974a. Milk protein production in cows abomasally infused with casein or glucose. J. Dairy Sci. 57:869.**
- Vik-Mo, L.R., J.T. Huber, W.G. Bergen, R.E. Lichteswalner, R.S. Emery. 1974b. Blood metabolites in cows abomasally infused with casein or glucose. J. Dairy Sci. 57:1024.**
- Waldo, D.R. 1973. Extent and partition of cereal grain starch digestion in ruminants. J. Anim. Sci. 37:1062.**
- Waltz, D.M., M.D. Stern, D.J. Illig. 1989. Effect of ruminal protein degradation of blood meal and feathermeal on the intestinal amino acid supply to lactating cows. J. Dairy Sci. 72:1509.**
- Whitelaw, F.G., J.S. Milne, E.R. Orskov, J.S. Smith. 1986. The nitrogen and energy metabolism of lactating cows given abomasal infusion of casein. Br. J. Nutr. 55:537.**
- Wu, Z., F.T. Sleiman, C.B. Theurer, F. Santos, J.M. Simas, M. Francolin, J.T. Huber. 1994. Effect of isocaloric infusion of glucose in the rumen or propionate in the duodenum. J. Dairy Sci. 77:1556.**

VIII. APENDICES

APENDICE A. PROCEDIMIENTO PARA MARCAR EL RASTROJO DE SORGO E INGREDIENTES PROTEICOS CON CROMO (Udén et al., 1980)

PREPARACION DE LA FIBRA.

1. Colocar 500 g del forraje a marcar en una autoclave y agregar aproximadamente 6 l de agua con 750 g de detergente comercial.
2. Calentar a una presión de 120 lb/pulg² por una hora, y dejar enfriar a temperatura ambiente.
3. Lavar abundantemente con agua corriente hasta que la fibra esté libre de detergente.
4. Secar en una estufa de aire forzado por 24 horas a 60 C.

AMORDANTAMIENTO DE LA FIBRA.

5. A 300 g de la fibra preparada, agregar 5 l de solución de dicromato de sodio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$) conteniendo una cantidad equivalente de Cr del 12-14% del peso de la fibra.
6. Cubrir el recipiente con papel aluminio y calentarlo en una estufa a 100 C toda la noche.
7. Lavar la fibra abundantemente con agua corriente hasta que el agua salga clara.
8. Para convertir el Cr (VI) a Cr(III), suspender la fibra por una hora en una solución con bisulfito de sodio (una mitad del peso de la fibra).
9. Lavar la fibra amordantada hasta que el agua empiece a salir clara y secar a 60 C en una estufa de aire forzado.

AMORDANTAMIENTOS DE LOS INGREDIENTES PROTEICOS.

1. Los ingredientes proteicos no tuvieron ningún tratamiento previo. A 200 g del ingrediente, agregar 1 l de solución de dicromato de sodio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$) conteniendo una cantidad equivalente de Cr del 12-14% del peso de la fibra.
2. Seguir los pasos 6 al 9 descritos anteriormente.

APENDICE B. PROCEDIMIENTO PARA MARCAR LOS GRANOS CON YTERBIO POR EL METODO DE INMERSION-LAVADO (Goetsch y Galyean, 1983).

1. Colocar 100 g del grano (tal como se ofrecia en el alimento) en un litro de solución de yterbio (disolver 5.0 g de $\text{YbCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ por litro de agua destilada). Reposar por 24 horas con agitación periódica (3-4 veces por d).
2. Lavar al menos seis veces con agua corriente para remover el marcador no unido al grano.
3. Secar el grano en una estufa de aire forzado a 55 C por 48 horas.

APENDICE C. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE YTERBIO Y CROMO (Poore et al. 1990).

1. Pesar 2.5 g de muestra en un matraz Erlenmeyer de 125 ml.
2. Agregar 10 ml de ácido nítrico y 10 ml de ácido clorhídrico.
3. Dejar reposar por 15 a 20 min. Si las muestras empiezan a levantar espuma, agitar los matraces.
4. Colocar los matraces en una platina precalentada. La temperatura de esta debe ser lo suficientemente caliente para permitir que las muestras hiervan sin quemar las muestras.
5. Agitar ocasionalmente hasta que la mayoría de los gases se hayan ido (toma aproximadamente 25 a 30 minutos).
6. Sacar los matraces de la platina, reposar por un minuto y agregar 10 ml de ácido clorhídrico (tratando de arrastrar el material adherido a las paredes del matraz).
7. Regresar los matraces a la platina caliente y calentar hasta que la mayoría de los gases se hayan ido (40-50 min). El residuo toma un color amarillento y un consistencia gruesa.
8. Sacar los matraces de la platina y enjuague las paredes con agua desionizada. Permitir que se enfríe antes del filtrado (30-40 min).
9. Filtrar el contenido de los matraces en matraces volumétricos de 50 o 100 ml (papel filtro No 1). Enjuagar varias veces con agua desionizada. Enjuagar el papel filtro al menos una vez.
10. Remover el papel filtro y enjuagar el embudo .
11. Aforar al volumen final con agua desionizada.
12. Mezclar bien y transferir una muestra a frascos de polipropileno para su posterior lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.
13. Los parámetros utilizados en el espectrofotómetro de absorción atómica fueron los siguientes :

Yterbio :

Wavelength : 398.8

Slit width : 0.2

Gases de la flama : Oxido nitroso - Acetileno

Cromo :

Wavelength : 357.9

Slit width : 0.7

Gases de la flama : Aire - Acetileno

APENDICE D. PROGRAMA SAS PARA MODELOS DE DOS COMPARTIMENTOS, EDAD-DEPENDIENTE, EDAD-INDEPENDIENTE. (Ellis et al., 1979; Pond et al., 1988).

* ESTE ARCHIVO ES A:EXP2TESIS.NLN;

OPTIONS PS=60 PAGENO=1;
TITLE 'MODELO G1G1; ELEMENTO - Cromo';
DATA G1G1;
INFILE 'A:\PROCR.TXT';
INPUT ANI TRT PER TIEMPO PESO;

****BORRANDO MUESTRAS CON VALORES MAS BAJOS QUE LOS LIMITES DE DETECCION;

IF YB < .10 THEN YB = 0;

**** LAS MUESTRAS FUERON DILUIDAS A 100 ML;
**** CONVIRTIENDO PPM DEL MARCADOR A MG POR KG DE HECES (PPM EN BASE SECA);

YBPPM=(YB*100)/PESO;
Y=YBPPM;

** NOTA: ;

** CO = concentracion a la hora cero en mg de marcador por KILOGRAMO de heces (no en mg/g como en Grovum & Williams, 1973)

L1 = lambda 1 (tasa rápida, edad dependiente para G2G1, G3G1, G4G1) (no corregida para tiempo dependiente gama).

K2 = tasa lenta o de pasaje ruminal, independiente de edad.

TAU = tiempo lag, tiempo de o tau (representando el tiempo de primera aparición en las heces);

***** INICIO DEL MODELO DOS COMPARTIMENTOS G1G1 *****;

TP=TIEMPO;
IF TP<0 THEN DELETE;
PROC SORT; BY ANI TRT PER;
PROC NLIN BEST=5 ITER=50 CONVERGENCE=.00001 METHOD=MARQUARDT;
BY ANI TRT PER;
PARMS C0= 100 500 1200 2400

L1= .1 .4 .7 2
K2= .03 .05 .07
TAU= 1 10 15 ;

BOUNDS 0<C0, .001<L1, .001<K2, 0<TAU;
T=TP-TAU;
IF T<0 THEN GO TO ALPHA;
C1=EXP(-L*T);
C2=EXP(-K*T);
C3=C1-C2;
C4=K-L;
C5=C4**2;
C6=(C1*L)-(C2*K);

MODEL Y=C0*(L1/C4)*C3;
DER.C0=L1*C3/C4;
DER.L1=CO*(K2*C3/C5-L1*TAU*C1/C4);
DER.K2=CO*(-L1*C3/C5+L1*TAU*C2/C4);
DER.TD=CO*(L1*C6/C4);

GO TO BETA;

ALPHA:

MODEL Y=0.0;
DER.C0=0.0;
DER.L1=0.0;
DER.K2=0.0;
DER.TAU=0.0;

BETA::

OUTPUT OUT=POINTS1 PREDICTED=YHAT PARMS=C0 L1 K2 TAU
RESIDUAL=RESID;
PROC SORT DATA=POINTS1; BY ANI TRT PER;
DATA OK; MERGE POINTS1 G1G1;

PROC PRINT;
PROC PLOT; BY ANI TRT PER ;
PLOT YHAT*TP=" Y*TP="A/OVERLAY;
LABEL TP="HORA POST DOSIS";
RUN;

*****FIN DEL MODELO DE DOS COMPARTIMENTOS G1G1*****;

*****INICIA EL MODELO DE DOS COMPARTIMENTOS G2G1*****;

OPTIONS PS=60 PAGENO=1;
TITLE 'MODELO G2G1; ELEMENTO - Cromo';
DATA G2G1;
INFILE 'A:PROCR.TXT';

INPUT ANI TRT PER TIEMPO PESO YB;

****BORRANDO MUESTRAS CON VALORES MAS BAJOS QUE LOS LIMITES DE DETECCION;

IF YB < .10 THEN YB = 0;

**** CONVIRTIENDO PPM DEL MARCADOR A MG POR KG DE HECES (PPM EN BASE SECA);

YBPPM=(YB*100)/PESO;

Y=YBPPM;

TP=TIEMPO;

IF TP<0 THEN DELETE;

PROC SORT; BY ANI TRT PER;

PROC NLIN BEST=5 ITER=50 CONVERGENCE=.00001 METHOD=MARQUARDT;
BY ANI TRT PER;

PARMS C0= 100 500 1200 2400

L1= .1 .4 .7 2

K2= .03 .05 .07

TAU= 1 10 ;

BOUNDS 0<C0, .001<L1, .001<K2, 0<TAU;

T=TP-TAU;

IF T<0 THEN GO TO ALPHA;

E1=EXP(-L*T);

E2=EXP(-K2*T);

DIFF1=K2-L1;

DIFF2=DIFF1**2;

DIFF3=DIFF1**3;

BRACKET1=((L1**2)*T/DIFF1)-(L1**2)/DIFF2;

BRACKET2=(L1**2)/DIFF2;

ONE=T*(L1**2)/DIFF2;

TWO=2.0*(L**2)/DIFF3;

MODEL Y=C0*(E1*BRACKET1+E2*BRACKET2);

DER.C0=E1*BRACKET1+E2*BRACKET2;

DER.L1=C0*(L1*T*(2.-L1*T)/DIFF1+2.*L1*

(L1*T-1.)/DIFF2-TWO)*E1+E2+(2.*L1*K2/DIFF3)*C0;

DER.K2=C0*(TWO-ONE)*E1+E2*(-ONE-TWO)*C0;

DER.TAU=C0*(E1*(((L1**3)*T-L1**2)/

DIFF1-(L1**3)/DIFF2)+E2*K*(L1**2)/DIFF2);

GO TO BETA;

ALPHA:

MODEL Y=0.0;

DER.C0=0.0;
DER.L1=0.0;
DER.K2=0.0;
DER.TAU=0.0;
BETA.;

OUTPUT OUT=POINTS1 PREDICTED=YHAT PARMS=C0 L1 K2 TAU
RESIDUAL=RESID;
PROC SORT DATA=POINTS1; BY ANI TRT PER;
DATA OK; MERGE POINTS1 G2G1;
PROC PRINT;
PROC PLOT; BY ANI TRT PER ;
PLOT YHAT*TP="" Y*TP='A'/OVERLAY;
LABEL TP='HORA POST DOSIS';
RUN;

*****FIN DEL MODELO DE DOS COMPARTIMENTOS G2G1*****;

*****INICIO DEL MODEL DE DOS COMPARTIMENTOS G3G1*****;

OPTIONS PS=60 PAGENO=1;
TITLE 'MODELO G3G1; ELEMENTO - Cromo';
DATA G3G1;
INFILE 'A:PROCR.TXT';
INPUT ANI TRT PER TIEMPO PESO YB;

***BORRANDO MUESTRAS CON VALORES MAS BAJOS QUE LOS LIMITES DE
DETECCION;

*IF CO < .10 THEN CO = 0;
IF YB < .10 THEN YB = 0;

***LAS MUESTRAS FUERON DILUIDAS A 100 ML;

***** CONVIRTIENDO PPM DEL MARCADOR A MG POR KG DE HECES (PPM EN
BASE SECA);

YBPPM=(YB*100)/PESO;
Y=YBPPM;
TP=TIEMPO;
IF TP<0 THEN DELETE;
PROC SORT; BY ANI TRT PER;
PROC NLIN BEST=5 ITER=50 CONVERGENCE=.00001 METHOD=MARQUARDT;
BY ANI TRT PER;

PARMS C0= 100 600 1100

L1= .4 .5 .6
 K2= .01 .02 .03
 TAU= 1 10 15 ;

BOUNDS 1<C0, .001<L1, .001<K2, 0<TAU;

T=TP-TAU;

IF T<0 THEN GO TO ALPHA;

A=L1;

B=K2;

A2=A**2;

A3=A**3;

S=A-B;

S2=S**2;

S3=S**3;

D11=A/S;

D12=A/S2;

D22=A2/S2;

D23=A2/S3;

D31=A3/S;

D32=A3/S2;

D33=A3/S3;

F12=-B/S2;

T2=T**2;

E1=EXP(-A*T);

E2=EXP(-B*T);

DIFF=E2-E1;

SUM=(D32*T)+(D31*T2)/2;

TEMP=(D33*DIFF)-(E1*SUM);

MODEL Y=C0*TEMP;

DER.C0=TEMP;

G1=3*D22*F12;

G2=3*D22*D12;

G3=D23*(A-3*B);

G4=D22*(2*A-3*B);

DER.L1=C0*((G1*DIFF)+(T*D33*E1)+(T*E1*SUM)-E1*(T*G3+T2*G4/2));

DER.K2=C0*((G2*DIFF)-(T*D33*E2)-E1*(2*T*D33+T2*D32/2));

DER.TAU=C0*((D33*(B*E2-A*E1))-(A*E1*SUM)+E1*(D32+T*D11*A2));

MODEL Y=C0*(((EXP(-K2*T))*((-L1/(K2-L1))3))-EXP(-L1*T)*

(((-L1/(K2-L1))*(((L1*T)**2)/2))+(((L1/(K2-L1))**2)*(L1*T))+

(-L1/(K2-L1))**3));

GO TO BETA;

ALPHA:

MODEL Y=0.0;

DER.C0=0.0;

DER.L1=0.0;

DER.K2=0.0;

DER.TAU=0.0;

BETA::

```
OUTPUT OUT=POINTS1 PREDICTED=YHAT PARMS=C0 L1 K2 TAU
RESIDUAL=RESID;
PROC SORT DATA=POINTS1; BY ANI TRT PER;
DATA OK; MERGE POINTS1 G3G1;
PROC PRINT;
PROC PLOT; BY ANI TRT PER ;
PLOT YHAT*TP=' ' Y*TP='A'/OVERLAY;
LABEL TP='HORA POST DOSIS';
RUN;
```

*****FIN DEL MODELO DE DOS COMPARTIMENTOS G3G1*****;

*****INICIO DEL MODELO DE DOS COMPARTIMENTOS G4G1*****;

```
OPTIONS PS=60 PAGENO=1;
TITLE 'MODELO G4G1 / ELEMENTO - Cromo ';
DATA G4G1;
INFILE 'A:PROCR.TXT';
INPUT ANI TRT PER TIEMPO PESO YB;
```

****BORRANDO MUESTRAS CON VALORES MAS BAJOS QUE LOS LIMITES DE DETECCION;

```
IF YB < .10 THEN YB = 0;
```

****LAS MUESTRAS FUERON DILUIDAS A 100 ML;

***** CONVIRTIENDO PPM DEL MARCADOR A MG POR KG DE HECES (PPM EN BASE SECA);

```
YBPPM=(YB*100)/PESO;
```

```
Y=YBPPM;
TP=TIEMPO;
IF TP<0 THEN DELETE;
PROC SORT; BY ANI TRT PER;
PROC NLIN BEST=5 ITER=50 CONVERGENCE=.00001 METHOD=MARQUARDT;
BY ANI TRT PER;
```

```
PARMS C0= 100 600 1100
L1= .4 .5 .6
K2= .01 .02 .03
TAU= 1 10 15 ;
```

```
BOUNDS 1<C0, .01<L1, .001<K2, 0<TAU;
```

```

T=TP-TAU;
IF T<0 THEN GO TO ALPHA;
A=L1;
B=K2;
A2=A**2;
A3=A**3;
A4=A**4;
S=A*B;
S2=S**2;
S3=S**3;
S4=S**4;
D11=A/S;
D12=A/S2;
D34=A3/S4;
D44=A4/S4;
D43=A4/S3;
D32=A3/S2;
D33=A3/S3;
D42=A4/S2;
D41=A4/S;
F=-B/S2;
T2=T**2;
T3=T**3;
E1=EXP(-A*T);
E2=EXP(-B*T);
DIFF=E2-E1;
SUM=(D43*T)+(D42*T2)/2 +(D41*T3)/6;
TEMP=(D44*DIFF)-(E1*SUM);
MODEL Y=C0*TEMP;
DER.C0=TEMP;
G1=4*D33*F;
G2=4*D33*D12;
G3=D34*(A-4*B);
G4=D33*(2*A-4*B);
G5=D32*(3*A-4*B);
DER.L1=C0*((G1*DIFF)+(T*D44*E1)+(T*E1*SUM)-E1*(T*G3+T2*G4/2+
T3*G5/6));
DER.K2=C0*((G2*DIFF)-(T*D44*E2)-E1*(3*T*D44+T2*D43+T3*D42/6));
DER.TAU=C0*(D44*(B*E2-A*E1)-A*E1*SUM+E1*(D43+T*D42+T2*D41/2));

GO TO BETA;
ALPHA:
MODEL Y=0.0;
DER.C0=0.0;
DER.L1=0.0;
DER.K2=0.0;
DER.TAU=0.0;

```

BETA;;

OUTPUT OUT=POINTS4 PREDICTED=YHAT PARMS=C0 L1 K2 TAU
RESIDUAL=RESID;
PROC SORT DATA=POINTS4; BY ANI TRT PER;
DATA OK; MERGE POINTS4 G4G1;
PROC PRINT;
PROC PLOT; BY ANI TRT PER;
PLOT YHAT*TP="" Y*TP='A'/OVERLAY;
LABEL TP='HORA POST DOSIS';
RUN;

*****FIN DEL MODELO DE DOS COMPARTIMENTOS G4G1*****;

*****INICIO DEL MODELO DE DOS COMPARTIMENTOS G5G1*****;

OPTIONS PS=60 PAGENO=1;
TITLE 'MODELO G5G1 / ELEMENTO - Cromo';
DATA G5G1;
infile 'A:PROCR.TXT';
INPUT ANI TRT PER TIEMPO PESO YB;

****BORRANDO MUESTRAS CON VALORES MAS BAJOS QUE LOS LIMITES DE
DETECCION;

IF YB < .10 THEN YB = 0;

****LAS MUESTRAS FUERON DILUIDAS A 100 ML;

***** CONVIRTIENDO PPM DEL MARCADOR A MG POR KG DE HECES (PPM EN
CASE SECA);

YBPPM=(YB*100)/PESO;
Y=YBPPM;
TP=TIEMPO;
IF TP<0 THEN DELETE;
PROC SORT; BY ANI TRT PER;
PROC NLIN BEST=5 ITER=50 CONVERGENCE=.00001 METHOD=MARQUARDT;
BY ANI TRT PER;

PARMS C0= 100 600 1100
L1= .4 .5 .6
K2= .01 .02 .03
TAU= 1 10 15 ;

BOUNDS 1<C0, .01<L1, .01<K2, 0<TAU;


```

T=TP-TAU;
IF T<0 THEN GO TO ALPHA;
MODEL Y=C0*(((EXP(-K2*T))*((-L1/(K2-L1))**5))-EXP(-L1*T)*
(((-L1/(K2-L1))*(((L1*T)**4)/24)))+
(((-L1/(K2-L1))**2)*(((L1*T)**3)/6))+
(((-L1/(K2-L1))**3)*(((L1*T)**2)/2))+
(((-L1/(K2-L1))**4)*(L1*T))+
(-L1/(K2-L1))**5);
GO TO BETA;
ALPHA:
MODEL Y=0.0;
BETA:;

```

```

OUTPUT OUT=POINTS1 PREDICTED=YHAT PARMS C0 L1 K2 TAU ESS=ESS;
PROC SORT DATA=POINTS1; BY ANI TRT PER;
DATA OK; MERGE POINTS1 G5G1;

```

```

PROC PLOT; BY ANI TRT PER;
PLOT YHAT*TP='*' Y*TP='Y' /OVERLAY ;
LABEL TP='HORA POST DOSIS';
RUN;

```

```

*****FIN DEL MODELO DE DOS COMPARTIMENTOS G5G1*****;

```