

DIGESTIBILIDAD *IN VIVO*
EN BORREGOS. EFECTO
DE LA RELACIÓN
FORRAJE-CONCENTRADO EN LA
DIETA Y DEL GRUPO RACIAL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Ricardo Duarte Jáquez
Rector

David Ramírez Perea
Secretario General

Manuel Loera de la Rosa
Secretario Académico

Daniel Constandse Cortez
Director del Instituto de Ciencias Biomédicas

Luis Enrique Gutiérrez Casas
Coordinador General de Investigación y Posgrado

Ramón Chavira
*Director General de Difusión Cultural
y Divulgación Científica*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

DIGESTIBILIDAD *IN VIVO*
EN BORREGOS. EFECTO
DE LA RELACIÓN
FORRAJE-CONCENTRADO EN LA
DIETA Y DEL GRUPO RACIAL

GONZÁLEZ GARCÍA, HÉCTOR

ROJAS GONZÁLEZ, SERVANDO

ESCALANTE CORONA, LUIS GUSTAVO

OROZCO ERIVES, ARACELY

HOLGUÍN LICÓN, CELIA

NUTRICIÓN DE RUMIANTES

LISBEILY DOMÍNGUEZ RUVALCABA

COORDINADORA DE LA COLECCIÓN

Colección Reportes Técnicos de Investigación ISBN: 978-607-7953-80-7
Serie ICB, Vol. 17. ISBN: 978-607-520-157-3

D.R. © 2015 González García, Héctor; Rojas González, Servando; Escalante Corona, Luis Gustavo;
Orozco Erives, Aracely; Holguín Licón, Celia.

La edición, diseño y producción editorial de este documento estuvo
a cargo de la Dirección General de Difusión Cultural y Divulgación Científica,
a través de la Subdirección de Publicaciones

Cuidado de la edición y diagramación: Subdirección de Publicaciones

Primera edición, 2015
© 2015 Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Av. Plutarco Elías Calles 1210
Fovissste Chamizal, C.P. 32310
Ciudad Juárez, Chihuahua, México
Tel. +52 (656) 688 2260

<http://www.uacj.mx/DGDCDC/SP/Paginas/RTI.aspx>

ÍNDICE

Resumen	7
Palabras clave	7
Usuarios potenciales	8
Reconocimientos	8

I. INTRODUCCIÓN	9
------------------------	----------

II. PLANTEAMIENTO	10
--------------------------	-----------

III. METODOLOGÍA	19
-------------------------	-----------

IV. RESULTADOS	21
-----------------------	-----------

V. CONCLUSIONES	23
------------------------	-----------

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el efecto del grupo racial (Panza Negra *vs.* Pelibuey) y la proporción de forraje:concentrado (70:30, 60:40, 50:50 y 40:60%) en la dieta sobre la digestibilidad *in vivo* de los componentes fibrosos, se llevó a cabo una prueba experimental con ocho borregos (40 kg, de 10 meses de edad y con cánulas ruminales de 7.5 cm), los cuales estuvieron en jaulas individuales y sujetos a una alimentación restringida (1.5 veces el nivel de mantenimiento: 67.5 g/kg PV^{0.75}) ofrecida dos veces al día (08:00 y 17:00 h). Para determinar la digestibilidad se efectuó la colecta total de heces, a través del uso de bolsas individuales durante un periodo de siete días. El análisis estadístico de la información, se desarrolló con un modelo para un diseño experimental de cuadro latino 4 x 4 repetido, y la comparación de medias fue mediante la prueba de Tukey. Al hacer el análisis por separado en cada grupo racial, se detectó en los animales Panza Negra que todas las variables presentaron diferencias ($P < 0.05$) consistentes entre los tratamientos (dietas) ofrecidos. La digestibilidad de la materia seca (MS) y de la fibra detergente ácida (FDA) fue mayor ($P < 0.05$) en los dos niveles más altos de concentrado; mientras que en la digestibilidad de la fibra detergente neutra (FDN), hemicelulosa y celulosa, en general, se encontró una tendencia de observar valores más altos ($P < 0.05$) en las dietas con proporción de 50:50 y 40:60. Por otra parte, en los borregos Pelibuey se observó un comportamiento similar ($P > 0.05$) para las variables de FDN, FDA, hemicelulosa y celulosa en las dietas de 70:30 y 60:40, detectándose un aumento considerable ($P < 0.05$) en los valores para la dieta con proporción de 50:50. Para el caso de la MS, se observa un incremento sostenido ($P < 0.05$) en las dietas con los tres mayores niveles de concentrado en éstas respecto a la dieta 70:30. Al tomar en consideración toda la información proveniente de los dos grupos raciales y de las cuatro proporciones de forraje:concentrado, se detectó un efecto de la interacción de los dos factores principales ($P < 0.01$) para todas las variables evaluadas; demostrándose con las tendencias observadas que los animales provenientes del grupo racial Panza Negra presentan consistentemente una mayor digestibilidad de la MS, FDN, FDA, hemicelulosa y celulosa de la dieta total respecto a los borregos Pelibuey.

Palabras clave: borregos, relación forraje-concentrado, grupo racial, digestibilidad *in vivo*, consumo.

ABSTRACT

With the purpose of assessing the effect of the racial group (Blackbelly *vs.* Pelibuey) and the proportion of forage:concentrate (70:30, 60:40, 50:50, and 40:60%) on the diet *in vivo* digestibility of the fibrous components was made an experimental test with eight sheep (40 kg, 10 months of age and fitted with permanent rumen cannulas of 7.5 cm) which were in individual cages and subject to a restricted diet (1.5 times the maintenance level: 67.5 g/kg BW^{0.75}) offered twice a day (0800 and 1700 h). To determine the *in vivo* digestibility was carried out the total collection of feces through the use of individual bags during a period of seven days. The statistical analysis of data was made by using a model for experimental design of repeated 4 x 4 Latin square using the GLM procedure, and the comparison between means was made by using the Tukey test. In the carrying out of the analysis separately made in each racial group was detected that on Blackbelly animals all the variables showed differences ($P < 0.05$) between treatments (diets) offered. DM and ADF digestibility was higher ($P < 0.05$) in the two higher levels of concentrate; while in NDF, hemicellulose and cellulose digestibility was found a tendency to observe higher values ($P < 0.05$) in the diets with proportion of 50:50 and 40:60. However, in Pelibuey sheep was observed a similar behavior ($P > 0.05$) for NDF, ADF, hemicellulose and cellulose variables in 70:30 and 60:40 diets, detecting a significant increase ($P < 0.05$) in the values for the diet with 50:50 ratio. In the case of DM was noted a steady increase ($P < 0.05$) in the diets with the three major levels of concentrate with regard to 70:30 diet. To take into consideration all the information from the two racial groups and from the four proportions of forage:concentrate ratio was detected an effect of the interaction of the two major factors ($P < 0.01$) for all variables evaluated; demonstrating with trends that the Blackbelly animals presented consistently greater DM, NDF, ADF, hemicellulose and cellulose digestibility of the total diet with regard to the Pelibuey sheep.

Keywords: sheep, forage:concentrate ratio, racial group, *in vivo* digestibility, intake.

USUARIOS POTENCIALES:

productores de borregos y asociaciones o agrupaciones de ovinocultores.

RECONOCIMIENTOS:

se agradece el apoyo financiero otorgado por la Fundación Produce Chihuahua, A. C. para la implementación de esta prueba experimental, así como a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Digestibilidad in vivo en borregos. Efecto de la relación forraje-concentrado en la dieta y del grupo racial

1. INTRODUCCIÓN

Los carbohidratos son el principal componente de la dieta de los rumiantes y la principal fuente de energía en dietas basadas en forraje, que, a su vez, es el componente más amplio en las dietas diarias y contribuyen en 40 y 70% de la energía neta utilizada para la producción de leche. En varios lugares del mundo, los forrajes son empleados como fuente única de alimentación, debido a su abundancia y bajo costo; sin embargo, su disponibilidad y calidad no es constante durante el año (Domínguez Bello y Escobar, 1997).

Los cereales son producidos en el mundo en una cantidad aproximada a 2067 millones de toneladas (FAOSTAT, 2003). Los cereales representan arriba del 70% del total de las áreas cosechadas y contribuyen arriba del 60% de la producción de alimentos en el mundo (Charalampopoulos, Pandiella y Webb, 2002). A pesar de que los granos hacen una aportación significativa de proteína a la dieta de los rumiantes, el mayor nutriente es la energía, que es derivada principalmente del almidón, con una proporción menor de lípidos, aminoácidos no esenciales, azúcares libres y polisacáridos no almidonados.

Debido a la constante demanda de alimentos por la creciente población, los rumiantes son ahora alimentados con una dieta con altos porcentajes de cereales, a fin de disminuir los días de alimentación y acelerar el proceso de producción. El valor de los cereales como alimento del ganado, es explicado usualmente por su habilidad de proveer más energía para el crecimiento microbiano y el metabolismo del animal.

Sin embargo, grandes cantidades de granos sin la correcta adaptación del animal pueden provocar desórdenes metabólicos en la fermentación ruminal, resultando en efectos negativos en el desempeño del animal; por ello, la celulólisis en el rumen podría ser inhibida por un bajo pH producido como consecuencia de una rápida fermentación microbiana y por la disponibilidad de carbohidratos fácilmente fermentables. Lo anterior, provoca una reducción en el número de microbios celulíticos, pero se observa, además, una reducción en la colonización de las partículas por microbios celulíticos *in vitro*.

Por otra parte, la alimentación con concentrados usualmente produce un incremento en la proporción del propionato y una disminución del acetato en los ácidos grasos volátiles (AGV), así como un aumento en la concentración del lactato (Van Soest, 1994). El nivel requerido de producción del animal determina, en general, la cantidad de grano en la dieta.

El efecto de la relación forraje:concentrado en la dieta sobre los principales parámetros digestivos podría ser afectado por el nivel de consumo (Fébel y Fekete, 1996). Aunque las dietas con concentrado son ofrecidas a niveles altos de consumo, bajo

- 10 ciertas condiciones de explotación este tipo de dietas puede ser ofrecido a niveles restringidos de consumo.

El propósito del presente experimento fue evaluar el efecto de la relación forraje:concentrado sobre la digestibilidad aparente (*in vivo*) de los componentes principales de la dieta (materia seca [MS], fibra detergente neutra [FDN] y fibra detergente ácida [FDA], celulosa y hemicelulosa) en dos grupos raciales de borregos (Pelibuey *vs.* Panza Negra) alimentados con dietas completas cuando se encontraban sujetos a un nivel de consumo de 1.5 veces el nivel de mantenimiento.

2. PLANTEAMIENTO

La medición de la digestibilidad se ha usado ampliamente como un índice básico para la estimación del valor nutricional de los alimentos. Por razones económicas, la colección de datos empleando borregos ha sido la base de tales procedimientos de evaluación en muchos laboratorios. El uso de borregos como un modelo experimental para bovinos asume que las variaciones en el consumo y en el tipo de la dieta producen cambios similares en la cinética digestiva de ambas especies. La suposición de que estas especies no difieren desde un punto de vista nutricional, se ha basado en trabajos desarrollados con animales alimentados con dietas altas en forrajes (Colucci *et al.*, 1990).

2.1 Determinación de la digestibilidad *in vivo* en forrajes

La información de su composición requiere de análisis químicos para la determinación de diversos parámetros como MS, materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) y fibra, entre otros. Para un forraje determinado, el balance de materia que desaparece a lo largo del tránsito por el tubo digestivo del animal es una de las determinaciones más reproducibles, indicando Van Soest (1994) que la variabilidad observada en los ensayos de digestibilidad *in vivo* está inversamente relacionada con la digestibilidad del alimento. Según este autor, la mínima variabilidad esperada en dichos ensayos, expresada en términos de desviación estándar del valor medio, es de ± 2 unidades de digestibilidad para ensayos correctamente planeados y ejecutados con un nivel de alimentación restringido. Este valor usualmente se incrementa para forrajes de baja calidad, para mayores niveles de consumo o con animales de características heterogéneas, pudiendo tomarse esta diferencia de dos unidades como el límite inferior de significación biológica en la discusión de los resultados de digestibilidad de los alimentos para rumiantes.

Digestibilidad in vivo en borregos. Efecto de la relación forraje-concentrado en la dieta y del grupo racial

McDonald *et al.* (2002) definen el concepto de digestibilidad potencial de un forraje como la máxima digestibilidad alcanzable cuando las condiciones y duración de la fermentación no son factores limitantes. Como Minson (1990) indica, para cada muestra de forraje hay un solo valor de digestibilidad potencial (DP), pero existe una serie de digestibilidad aparente (DA) *in vivo*, dependiendo de la cantidad de material potencialmente digestible que escapa a la digestión del animal (E) y de la inevitable producción de material metabólico que aparece en las heces (M), relacionándose dichos parámetros mediante la ecuación $DA = DP - (E + M)$. La cantidad de material metabólico inevitablemente perdido en las heces, es directamente proporcional a la cantidad de MS ingerida, independientemente del tipo del forraje, secretándose 0.129 g de material de origen metabólico por cada g de MS ingerido (Van Soest, 1994).

Por otra parte, la digestibilidad verdadera (DV) de un forraje (ocasionalmente empleada en estudios de digestibilidad) se corresponde con el valor de la DA adicionado con el valor del M: $DV = DA + M$. Aunque fisiológicamente la DV representa la parte del alimento que es realmente incorporada a la sangre del animal, los procesos de digestión requieren de sustancias procedentes del alimento que producen pérdidas fecales de origen metabólico. Por lo tanto, el valor de la DA describe con mayor exactitud el resultado neto del proceso más que la DV (Jurgens, 2001).

Mientras que la digestibilidad de los contenidos celulares del forraje es prácticamente total, la digestión de la pared celular es variable y depende, fundamentalmente, del grado de lignificación de la misma (Van Soest, 1994). Cualquier factor que reduce el tiempo de exposición del alimento a la microflora del rumen, o que disminuye la actividad de los microorganismos celulolíticos, resultará en una depresión de la digestibilidad de la pared celular. Diversos autores estudiaron el efecto del nivel de alimentación de los forrajes en la eficiencia con la que son digeridos por el ganado ovino, concluyendo que el incremento de la ingesta reduce la digestibilidad de la fibra de los forrajes, debido, entre otros factores, a la reducción del tiempo de permanencia del alimento en el rumen (Cheeke, 2004).

Por otra parte, Pond *et al.* (2005) indican que en condiciones donde los animales son alimentados por debajo de las necesidades de mantenimiento, la digestibilidad de la dieta es, con cierta frecuencia, deprimida, manifestando que una posible causa sería la reducción del crecimiento bacteriano en el rumen. Según Church (1993) señala, la depresión de la digestibilidad con el incremento del nivel de alimentación se hace claramente patente para las dietas con alto contenido en concentrado, mientras que cuando los forrajes se ofrecen como único alimento, los cambios en la eficiencia digestiva con el incremento del nivel de consumo son más reducidos. De la revisión efectuada por Colucci *et al.* (1990), en la que se examinan diversas publicaciones que estudiaron la variación de la eficiencia digestiva en ovinos y bovinos con el incremento del nivel de consumo en dietas de diferente contenido de concentrado, se deduce que para dietas con menos de 20% de concentrado, ofreciendo un consumo de entre

- 12 una y dos veces el nivel de mantenimiento, representaría una disminución de la digestibilidad de la MO de 2 a 3 unidades porcentuales.

El ganado vacuno digiere la MS del forraje más eficientemente que el ganado ovino (Kellems y Church, 2001), en particular cuando el forraje ofrecido es de baja calidad. Se ha relacionado la mayor eficiencia digestiva del ganado bovino en estas condiciones con un mayor tiempo de retención del alimento en el rumen comparado con el ovino. La diferencia media a favor de la especie bovina, es establecida por Minson (1990) en algo más de dos unidades de la digestibilidad de la MS (DMS), indicando dicho autor la ecuación $DMS_{BOVINO} = 0.039 + 0.970 (DMS_{OVINO})$ para describir la relación entre la digestibilidad en porcentaje medida en las dos especies. Dicha ecuación fue obtenida para forrajes de gramíneas de digestibilidad en el rango de 40 a 60% de DMS. A este respecto, Perry, Cullison y Lowrey (2002) indican que cuando la digestibilidad de los forrajes es superior al rango de 55 a 69%, los resultados de la digestibilidad obtenidos con ovinos pueden ser aplicados al ganado vacuno.

Según Pond *et al.* (2005), en las determinaciones de digestibilidad con rumiantes, el forraje es ofrecido en cantidades exactas por largos periodos, a fin de asegurar que se alcanza una excreción regular de heces, momento a partir del cual se lleva a cabo la colección de las heces producidas durante un determinado tiempo. Las determinaciones de digestibilidad *in vitro* representan los datos de referencia para los nutricionistas y son considerados, generalmente, como los datos más útiles acerca de un forraje, siendo los estándares frente a los cuales se debe probar la exactitud de los métodos indirectos de estimación del valor energético (Minson, 1990). El equipamiento y los protocolos de acción necesarios para las determinaciones de digestibilidad *in vivo* con los ovinos, han sido objeto de numerosas revisiones (Cochran y Galyean, 1994; Ørskov, 1999) en las que se derivan recomendaciones en cuanto a las instalaciones, tipo de jaulas, preparación y conservación del alimento a evaluar, tipo de animales y número a utilizar, duración de los periodos de adaptación y de control de la excreción de heces, toma de muestras del alimento ofrecido y rechazado y heces, y conservación de las muestras hasta su análisis.

Las recomendaciones más importantes sobre el procedimiento para la evaluación de la digestibilidad *in vivo* de forrajes con ovinos son las siguientes:

- a) Para las instalaciones se recomienda área techada, bien ventilada, preferentemente en condiciones de ambiente controlado. Las evaluaciones no se deben hacer fuera de la zona termoneutral del ganado ovino (-3 a 20 °C).
- b) Para las jaulas metabólicas se recomienda equiparlas con separadores de heces y orina, diseñadas para minimizar el estrés de los animales y evitar la contaminación de las muestras.
- c) Para el tipo de animal (ovino) se recomiendan machos castrados, que hayan al-

*Digestibilidad in vivo en borregos. Efecto de la relación
forraje-concentrado en la dieta y del grupo racial*

canzado su peso vivo (PV) maduro (≥ 2 años) y que estén en buenas condiciones físicas y sanitarias; se debe de prestar especial atención en la homogeneidad de los grupos de animales en cuanto a peso y alimentación previa al experimento.

- d) Para la conservación del alimento por evaluar, se recomienda la congelación rápida a -15 °C, lo cual ejerce un efecto mínimo sobre la digestibilidad.
- e) Para el número de animales por alimento a evaluar, se recomienda, primero, considerar la digestibilidad del alimento y el tamaño del error asumible en la estimación de la media. El coeficiente de variación entre individuos disminuye con el incremento de la digestibilidad del forraje por evaluar, por lo cual es pertinente utilizar un número de cuatro animales si sólo se determina la digestibilidad, y de ocho si se estima, además, el consumo, lo que permitirá detectar diferencias de digestibilidad de 2 a 3 unidades porcentuales y diferencias en el consumo voluntario ($\text{g MS PV}^{0.75}$) de 6 a 10 unidades en la mayor parte de forrajes, frescos y ensilados.
- f) Para la duración del ensayo se recomienda un periodo de adaptación, dependiendo del forraje por evaluar y de la dieta previa de los animales, el cual puede ser de 10 a 20 días, en particular si el nivel de alimentación es *ad libitum*. Un periodo de control de la producción de heces, así como del alimento ofrecido y rechazado (en su caso) de 7 a 12 días es suficiente para la mayoría de los forrajes, frescos y conservados.
- g) Para la frecuencia de la alimentación se recomienda ofrecer dos tomas diarias del alimento por evaluar; no obstante, hay escasa evidencia de que la frecuencia de alimentación afecte la eficiencia digestiva (Bunting *et al.*, 1987).
- h) Para la presentación física del alimento, se recomienda, en función de la heterogeneidad de las características del forraje, el picado suficiente del mismo para minimizar la selección por los animales, particularmente en el caso de ser ofrecido *ad libitum*.
- i) Para el nivel de consumo se recomienda el alimento ofrecido *ad libitum* o a un nivel próximo al mantenimiento ($40 \text{ g MS PV}^{0.75}$; Cochran y Galyean, 1994). La corrección del efecto del nivel de alimentación sobre la determinación de la digestibilidad, se puede hacer mediante el descenso de la digestibilidad, al aumentar una unidad el nivel de alimentación sobre la base de la digestibilidad media a un nivel de mantenimiento.
- j) Para el muestreo del alimento ofrecido y rechazado, y de las heces, se recomienda un muestreo diario de 10 % del alimento ofrecido y rechazado, y de 15 a 20% de las heces.

2.2 Manipulación de la fermentación ruminal

Los rumiantes dependen de los productos de fermentación microbiana ruminal, por ello, se busca la manera de manipular ésta para modificar, de forma positiva, la cantidad y el perfil de los productos finales de la misma. La manipulación se puede llevar a cabo mediante cambios en la dieta, el procesado de los alimentos y/o el uso de aditivos, los cuales deben maximizar la cantidad de nutrientes fermentados, optimizar el perfil de los AGV y la eficiencia de la producción de la proteína microbiana y/o minimizar la acumulación de amoníaco (NH_3), la producción de metano (CH_4) y la acumulación de lactato.

La consecución de estos objetivos requiere de conocer el proceso de degradación de los carbohidratos y la proteína. Los carbohidratos son unos de los componentes más importantes de las raciones para rumiantes a nivel cuantitativo, energético y funcional, y su manipulación debe optimizar la producción y el perfil de AGV minimizando las pérdidas energéticas en forma de CH_4 . La degradación de la proteína es otro de los procesos ruminales que se debe minimizar mediante la manipulación de la fermentación ruminal, ya que es un proceso muy ineficiente que provoca grandes pérdidas económicas y problemas medioambientales debido a la excreción de NH_3 .

Existen numerosos aditivos o antibióticos que han demostrado ser eficaces en el control de la degradación proteica mediante la inhibición del crecimiento de algunos microorganismos ruminales (Yang y Russell, 1993 a y b); sin embargo, el uso de estos productos requiere el conocimiento de los microorganismos y los mecanismos involucrados en el proceso de la degradación de la proteína.

2.2.1 Degradación de los carbohidratos en el rumen

Los carbohidratos son el componente cuantitativo más importante de la ración de un rumiante (70% de la dieta) y proporcionan de 70 a 80% de las necesidades energéticas del rumiante (Church, 1993); además, son los principales precursores de grasa y lactosa en la leche de los rumiantes cuyas raciones deben aportar los niveles necesarios de carbohidratos fibrosos y no fibrosos manteniendo un equilibrio entre ellos, para maximizar el consumo de energía, optimizar la fermentación ruminal y evitar procesos patológicos.

Los microorganismos del rumen permiten a la vaca obtener energía de los carbohidratos fibrosos (celulosa y hemicelulosa), que fermentan lentamente en el rumen; además, la presencia de fibra es necesaria para estimular la rumia, las contracciones del rumen y la producción de saliva. Las dietas que no tienen suficiente fibra dan como resultado la producción de leche con porcentajes bajos de grasa y contribuyen a la aparición de desórdenes digestivos, como el desplazamiento de abomaso o la acidosis ruminal (Van Soest, Robertson y Lewis, 1991).

Digestibilidad in vivo en borregos. Efecto de la relación forraje-concentrado en la dieta y del grupo racial

Estos carbohidratos fibrosos fermentan mayoritariamente a acetato y butirato por la acción de las bacterias celulolíticas. Este proceso es energéticamente menos eficaz que la fermentación de los carbohidratos no fibrosos, ya que se pierde un carbono en forma de CH_4 . Sin embargo, la producción de acetato y butirato es fundamental, ya que juegan un papel muy importante en la síntesis de grasa en la glándula mamaria (McDonald *et al.*, 2002).

Por el contrario, los carbohidratos no fibrosos (almidones, azúcares solubles y pectinas) fermentan rápida y casi completamente en el rumen. Estos carbohidratos incrementan la densidad energética de la ración, aportando energía para el rumiante y el crecimiento microbiano en el rumen. Sin embargo, los carbohidratos no fibrosos no estimulan la rumia ni la producción de saliva, favorecen la producción de ácido y la reducción del pH, y pueden inhibir la fermentación de la fibra si se encuentran en exceso en la ración.

Los almidones y los azúcares solubles fermentan a propionato sin pérdida de carbono, reduciendo las pérdidas energéticas en forma de CH_4 . Por el contrario, las pectinas fermentan a acetato, reduciendo el riesgo de acidosis y estimulando la producción de grasa en la leche en raciones con un porcentaje mayor de carbohidratos no fibrosos (Van Soest, Robertson y Lewis, 1991).

2.2.2 Degradación de la proteína en el rumen

La degradación ruminal de la proteína de la dieta hasta péptidos, aminoácidos y NH_3 , depende de los microorganismos ruminales. La hidrólisis de la proteína es un proceso de pasos múltiples: solubilización, proteólisis, peptidólisis extracelular, transporte de péptidos y aminoácidos, peptidólisis intracelular, fermentación de los aminoácidos y formación de productos finales (NH_3 , AGV, bióxido de carbono [CO_2] y CH_4).

El primer paso es la solubilización de la proteína, la cual se absorbe rápidamente a la membrana bacteriana, donde se lleva a cabo el ataque enzimático mediante proteasas de origen microbiano. Esta hidrólisis enzimática de los enlaces peptídicos libera péptidos y aminoácidos, que serán absorbidos por la bacteria y usados como tales, incorporándose directamente a la proteína microbiana, o bien son desaminados (Wallace y Cotta, 1988).

La desaminación de los aminoácidos produce NH_3 y cadenas carbonadas como catabolitos finales. Los esqueletos de las cadenas carbonadas se emplearán en la producción de AGV y CO_2 , o bien serán utilizados, junto al NH_3 , en la síntesis de nuevos aminoácidos que serán incorporados a la proteína microbiana.

Si la dieta tiene suficientes carbohidratos degradables, el NH_3 se puede usar como fuente de nitrógeno (N) para el crecimiento microbiano; cuando el aporte de carbohi-

- 16 dratos degradables en el rumen es bajo, gran parte de la proteína desaminada no podrá ser empleada en la síntesis de proteína microbiana, ocasionando un excedente de NH_3 ruminal, el cual no se desaprovecha, sino que se acumula en el líquido ruminal, pasa a la sangre, llega al hígado y se convierte en urea. Parte de ésta puede regresar al rumen a través de la saliva o, directamente, a través de la pared ruminal, pero la mayor parte se excreta en orina y, por tanto, se pierde (McDonald *et al.*, 2002). La pérdida de N, debido al exceso de NH_3 ruminal, se puede reducir con la selección de proteínas resistentes a las proteasas y peptidasas ruminales. Estas pérdidas también se pueden reducir mediante la inhibición de bacterias ruminales con elevada actividad proteolítica específica (Yang y Russell, 1993 a y b).

2.3 DEGRADACIÓN DE FORRAJES Y CEREALES EN EL RUMEN

El rendimiento de los rumiantes depende de la actividad, habilidad y capacidad de sus microorganismos para degradar y emplear los alimentos de la dieta. A pesar de que la competencia de sustratos en el rumen es alta, el sinergismo y la simbiosis entre los microorganismos hacen más eficiente la utilización de los mismos.

El rumen es un ecosistema muy complejo, el cual contiene diferentes especies microbianas con un gran potencial para asociaciones; muchas de éstas se sabe que existen entre microorganismos en el rumen (Lee, Ha y Cheng, 2000). El ecosistema microbiano comprende, al menos, 30 especies bacterianas (10^{10} a 10^{11} /ml de líquido ruminal; Stewart, Flint y Bryant, 1997), 40 especies de protozoarios (10^5 a 10^7 /ml de líquido ruminal; Williams y Coleman, 1997) y 5 especies de hongos ($< 10^5$ /ml de líquido ruminal; Orpin y Joblin, 1997).

Las bacterias, los hongos y los protozoarios son los microorganismos involucrados en la mayor digestión de la pared celular de las plantas en el rumen, y son responsables de 50 a 82% de la degradación *in vitro* de la pared celular (Lee, Ha y Cheng, 2000). Las especies bacterianas son consideradas más importantes que los protozoarios y los hongos para determinar el grado y el porcentaje de la degradación de los alimentos y el uso para la producción de proteína bacteriana y AGV (Stewart, Flint y Bryant, 1997).

Los microorganismos del rumen fermentan los polisacáridos (celulosa, hemicelulosa y almidón) a cadenas cortas de AGV, los cuales son empleados por el huésped suministrando energía y carbono para el crecimiento y mantenimiento de la comunidad bacteriana (Wolin y Miller, 1997). Los principales AGV presentes en el rumen son los ácidos acético, propiónico y butírico, en proporciones molares de 70:20:10 en una dieta a base de heno, y de 50:35:15 en dietas a base de concentrados, respectivamente (Rémond, Meschy y Boivin, 1996).

Digestibilidad in vivo en borregos. Efecto de la relación forraje-concentrado en la dieta y del grupo racial

Posteriormente, el huésped absorbe los AGV (mayormente por la pared del rumen) y digiere la proteína, los lípidos y los componentes de los carbohidratos integrados a los microbios, así como los residuos del alimento al entrar al intestino delgado para suplir los requerimientos de mantenimiento y la producción de carne y/o leche (Miron, Ben-Ghedalia y Morrison, 2001).

Durante la fermentación de la celulosa y la hemicelulosa, varias especies de bacterias celulolíticas y todas las especies de hongos anaerobios son capaces de producir hidrógeno (H); este gas no se acumula y rastros de H (< 0.2% del gas) son encontrados en el rumen. Este H es principalmente empleado por *Archaea methanogens*, la cual es la principal bacteria hidrogenotrófica del ecosistema ruminal (Morvan *et al.*, 1996).

En el rumen, el H, el CO₂ y otros sustratos, incluyendo el formiato, acetato, metilamina y metanol (producido de la dimetilación de los polímeros de las plantas), son usados principalmente para producir CH₄ (Stewart y Bryant, 1997). Las bacterias que se asume tienen el papel más significativo en la metanogénesis ruminal son: *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanobacterium formicicum* y *Methanomicrobium mobile*, que están presentes en un nivel de 10⁶/ml en el líquido ruminal de los animales en pastoreo (Stewart y Bryant, 1997; Jarvis *et al.*, 2000).

Los protozoarios juegan un papel importante en la producción de CH₄, particularmente cuando el ganado es alimentado con dietas basadas en un alto contenido de concentrado. Existe una relación muy cercana entre la metanogénesis ruminal y los protozoarios ciliados, tales como *Polyplastron multivesiculatum*, *Isotricha prostoma* y *Oprhyoscolex caudatus*, y en una baja cantidad *Entodinium spp.* (Stewart, Flint y Bryant, 1997).

La pérdida de CH₄ se ha estimado que representa entre 2 y 12% de la energía neta (EN) de la dieta del ganado (Domínguez Bello y Escobar, 1997), pero es más serio en animales alimentados con forraje (Johnson y Johnson, 1995). Pelchen y Peters (1998) estimaron que las emisiones de CH₄ provenientes de borregos adultos y en crecimiento son 23.2 (7.2% EN) y 20.5 g/d (7.2% EN), respectivamente. Estos autores observaron que las emisiones de CH₄, se elevaron con un incremento en el contenido de fibra cruda (> 18% MS) en la ración; por ello, el CH₄ en los forrajes es más elevado que en los concentrados.

La diferencia en la producción de CH₄ entre los forrajes y el concentrado, puede ser explicada en dos maneras: 1) Las bacterias metanogénicas necesitan el H derivado de la síntesis de acetato, que está relacionada con la celulosa en la dieta (Pelchen y Peters, 1998); y 2) Las diferencias entre el pH ruminal, en el cual la producción de CH₄ disminuye de 48 a 7 nmol/mg de proteína a niveles de pH de 6.5 a 5.7 (Lana, Russell y Van Amburgh, 1998).

- 18 La reducción de la metanogénesis en rumiantes es particularmente importante, porque representa una pérdida de energía alimenticia e incrementa el efecto invernadero a nivel mundial.

2.4 Factores que afectan la digestibilidad del forraje

De acuerdo con Minson (1990), los factores que pueden afectar la digestibilidad del forraje incluyen diferencias del cultivo, partes de las plantas, etapa de crecimiento, fertilidad del suelo, contenidos de minerales y de N (tales como S, P, Ca, K y Mg), clima, procesamiento y factores dañinos (sílice, taninos y aceites esenciales). Además, las condiciones de crecimiento (clima, terreno, prácticas culturales, etapas para el desarrollo y variedad) pueden influenciar en la calidad del forraje. La digestibilidad de las plantas depende de la etapa en que se encuentren, disminuyendo con la edad de la mismas; al envejecer la planta, la proporción de contenido celular disminuye y la cantidad de pared celular aumenta (Baumont *et al.*, 2000). El entorno puede afectar también la estructura de la amilosa y la amilopectina, la composición, las propiedades fisicoquímicas, la hidrólisis, y la digestibilidad del almidón y los cereales.

Los forrajes y los cereales contienen naturalmente compuestos que tienen efectos negativos en la digestibilidad del forraje y/o microflora gastrointestinal, que puede generar un límite en el rendimiento del animal y producir toxicosis fatales. Entre estas sustancias se encuentran alcaloides, glucósidos, esteroides y terpenos, ácidos simples y sus sales, proteínas y aminoácidos, polifenoles y micotoxinas, arabinogalactanos, minerales como el Cu, sílice y lignina (Mackie y White, 1990).

La degradabilidad del forraje se correlaciona particularmente con el contenido de sílice. Los arabinogalactanos previenen que las bacterias celulolíticas, se adhieran a la celulosa, y los alcaloides inhiben ciertos procesos bacterianos (Weimer, 1998). El alcohol coniferaldehído es un inhibidor de la degradación de la pared celular para las enzimas fúngicas. La lignina no tiene un valor digestible (Jung *et al.*, 1999), resiste la fermentación ruminal y es el factor responsable que dificulta la degradación de la fibra de la planta. El Cu, la mimosina, los taninos y las saponinas esteroidales contenidas en los forrajes (pastos, leguminosas y árboles) y en los subproductos agroindustriales, pueden afectar el consumo voluntario y las funciones enterohepáticas de los animales.

En los granos de cereales, también se encuentran barreras internas de digestión; las células epidérmicas de las plantas están constituidas por una estructura alta en celulosa y hemicelulosa, la cual constituye una barrera física para la penetración de las bacterias. Por otra parte, granos individuales de almidón con células dentro del endosperma están rodeados por una capa proteica de aleurona (*i.e.*, gluten en granos

Digestibilidad in vivo en borregos. Efecto de la relación forraje-concentrado en la dieta y del grupo racial

de trigo), que en algunos casos rodean el grano completamente (*i.e.*, trigo duro) o incompletamente en otros (*i.e.*, trigo suave) (Cheng *et al.*, 1991). En el sorgo y el maíz, la capa de aleurona que rodea los gránulos de almidón limita severamente el acceso a éste, afectando su digestibilidad. La matriz proteica en el endospermo córneo es extremadamente resistente a la adherencia o promueve el desprendimiento de la bacteria ruminal (McAllister *et al.*, 1994).

Por otra parte, el índice y la proporción de la digestión del almidón en el rumen están determinados por varios factores, como la fuente del almidón de la dieta, la composición de la dieta, el alimento consumido por unidad de tiempo, alteraciones mecánicas (*i.e.*, procesamiento de los granos, rumia), alteraciones químicas (*i.e.*, grado de hidratación, gelatinización) y el grado de adaptación de la microflora ruminal a la dieta. Los procesos físicos (*i.e.*, molienda, rolado, etcétera) incrementan el índice y la proporción de la digestión ruminal del almidón, lo cual reduce la cantidad de éste disponible para su digestión en el intestino delgado. Los microorganismos del rumen pueden digerir de 60 a 90% del almidón, dependiendo del tipo de procesamiento y las especies de granos de cereales; sin embargo, sólo una pequeña proporción del almidón de estas dietas es digerido por las enzimas producidas por los rumiantes (McAllister y Cheng, 1996).

Adicionalmente a los factores del forraje, aquellos relacionados con la microflora ruminal también pueden alterar la eficiencia en la utilización de la fibra de la plantas por los rumiantes, como la cinética en la digestión ruminal, la naturaleza y la densidad de población de las especies de microorganismos predominantes, y la acción enzimática de microorganismos fibrolíticos en la pared celular de los carbohidratos (Mackie y White, 1990).

3. METODOLOGÍA

La prueba experimental se desarrolló en la Unidad de Digestión y Metabolismo del Departamento de Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Ésta se encuentra a una altitud de 1135 msnm con una precipitación media anual de 230 mm, una temperatura media anual de 16.5 °C y una oscilación térmica de 14.5 °C (Municipio de Juárez, 2010).

Se utilizaron cuatro borregos Pelibuey y cuatro Panza Negra con un peso promedio inicial de 40 kg y una edad de 10 meses, equipados con una cánula ruminal permanente de 7.5 cm de diámetro.

Los animales, de acuerdo a su grupo racial, estuvieron sujetos al consumo de cuatro dietas (tratamientos) con variación en la relación forraje:concentrado: a) 70:30, b) 60:40, c) 50:50 y d) 40:60 g/100 g MS, respectivamente. Las dietas se ofrecieron en un nivel de consumo restringido (1.5 veces el nivel de mantenimiento: 67.5 g/kg PV^{0.75}).

Cada periodo experimental consistió en 10 días de adaptación y 12 días de muestreo. Antes del inicio de la fase de adaptación del primer periodo de muestreo, los animales se dosificaron con vitaminas A, D y E, y se desparasitaron interna y externamente. Los borregos se alojaron en corraletas metabólicas individuales con piso de concreto y una superficie de 1.8 m². La dieta se ofreció diariamente en dos tomas (08:00 y 17:00 h).

El forraje utilizado fue heno de alfalfa, el cual fue molido en un molino de martillos¹ con una criba de 10 cm. El concentrado fue especialmente formulado por una empresa comercial (12% PC). Los animales tuvieron libre acceso a un bloque mineral y el agua estuvo disponible a toda hora del día.

El consumo se obtuvo con base en la diferencia entre el peso de la MS del alimento ofrecido menos el peso de la MS del alimento rechazado (Galyean, 1997). La determinación de la MS de éstos, se efectuó mediante la técnica descrita por el AOAC (2000).

En todos los periodos se llevó un registro del peso de los animales, al inicio y al final de cada tiempo de muestreo, para poder determinar el peso metabólico, el cual se utilizó como una unidad de expresión del consumo. El pesaje se llevó a cabo con animales dietados por 24 h. Los borregos se pesaron en una báscula con capacidad de 180 kg y una variación mínima de 225 g.

La digestibilidad in vivo de la dieta total, se obtuvo por medio de la colección total de heces por un espacio de siete días durante cada periodo de muestreo, que se colectaron en bolsas individuales, siendo vaciadas éstas cada 8 h. Una vez colectado el total de las heces de cada día de muestreo, se procedió a mezclarlas para hacer una muestra representativa, de la cual se procedió a tomar dos submuestras. La primera de éstas se empleó para determinar el contenido de humedad, en tanto que la segunda se utilizó para conformar una muestra de todo el periodo, la cual se usó para determinar el contenido de ms, celulosa, hemicelulosa, fdn y fda en las heces (Goering y Van Soest, 1970; aoac, 2000).

La digestibilidad de los diversos componentes (ms, fda, fdn, celulosa y hemicelulosa) de la dieta, se calculó a través del consumo y la excreción de cada uno de los componentes (Galyean, 1997).

Las muestras representativas del alimento ofrecido y de las excretas obtenidas, se molieron en un aparato de molienda Wiley con malla de 1 mm, y se determinó el contenido de humedad y ms (aoac, 2000), en tanto que el contenido de fdn, celulosa, hemicelulosa y fda, se obtuvo con el método descrito por Goering y Van Soest (1970) en un aparato extractor de fibra.

Las variables evaluadas fueron el consumo de la ms total, los cambios en peso vivo para expresar las unidades de consumo, la digestibilidad in vivo de las dietas (ms,

¹ Marca Azteca.

El análisis de la información se llevó a cabo mediante un modelo para un diseño experimental de cuadro latino 4 x 4 repetido, consistente en cuatro tratamientos, cuatro periodos y cuatro animales por tratamiento y dos repeticiones (grupo racial):

$$Y_{ijkL} = m + a_i + T_j + b_k + CL + T \times C_{iL} + E_{ijkL} \quad (1)$$

Donde:

Y_{ijkL} = Observación experimental;

m = Media general;

a_i = Efecto del i -ésimo periodo ($i = 1, \dots, 4$);

T_j = Efecto del j -ésimo tratamiento ($j = 1, \dots, 4$);

b_k = Efecto de la k -ésimo animal ($k = 1, \dots, 8$);

CL = Efecto del L -ésimo grupo racial ($L = 1, 2$);

$T \times C_{iL}$ = Efecto de la interacción tratamiento x grupo racial; y

E_{ijkL} = Error experimental.

La comparación entre medias de tratamientos, se realizó mediante la prueba de Tukey (Montgomery, 1991). Para efectuar la mayoría de los análisis estadísticos, se utilizó el programa sas (1988).

4. RESULTADOS

En las dos secciones siguientes se discute, en forma separada, el efecto de la proporción forraje:concentrado en la dieta de cada uno de los grupos raciales (Panza Negra o Pelibuey) evaluados.

4.1 Efecto de la relación forraje:concentrado en la dieta sobre la digestibilidad de los componentes de la dieta en borregos Panza Negra

En el cuadro 1 se puede apreciar el comportamiento de la digestibilidad *in vivo* de los componentes fibrosos de la dieta cuando los borregos son alimentados con variación en la relación forraje:concentrado en la misma a un consumo de 1.5 veces el nivel

22 de mantenimiento. Todas las variables presentaron diferencias ($P < 0.05$) consistentes entre los tratamientos (dietas) ofrecidos; la digestibilidad de la MS y de la FDA fue mayor ($P < 0.05$) en los dos niveles más altos de concentrado respecto a la dieta de 70:30, siendo éste similar al valor encontrado para la dieta 60:40; mientras que en la digestibilidad de la FDN, hemicelulosa y celulosa, en general, se encontró una tendencia de observar valores más altos ($P < 0.05$) en las dietas con proporción de 50:50 y 40:60 respecto a la dieta de 60:40, y de ésta, a su vez ($P < 0.05$), sobre la dieta con menor porcentaje de concentrado (70:30).

En resumen, se puede mencionar que bajo este consumo de alimento, al parecer, existe una tendencia consistente en que, a medida que se aumenta el nivel de concentrado en la dieta, disminuyendo el forraje, se incrementa la digestibilidad de todos los componentes fibrosos de la misma hasta una proporción de 50:50, puesto que en las dietas de 40:60 se observa un ligero decremento en el comportamiento.

4.2 Efecto de la relación forraje:concentrado en la dieta sobre la digestibilidad de los componentes de la dieta en borregos Pelibuey

La digestibilidad de los componentes fibrosos de la dieta en los animales Pelibuey, se encuentra plasmada en el cuadro 2. Se observa un comportamiento similar ($P > 0.05$) para las variables de FDN, FDA, hemicelulosa y celulosa en las dietas de 70:30 y 60:40, detectándose un aumento considerable ($P < 0.05$) en los valores de la dieta con proporción de 50:50, para posteriormente disminuir en la dieta con mayor cantidad de concentrado (40:60) en la digestibilidad de la FDN, FDA y celulosa. Para el caso de la MS, se observa un incremento sostenido ($P < 0.05$) en las dietas con los tres mayores niveles de concentrado en la dieta respecto a la que contenía el máximo nivel de forraje (70:30).

4.3 Efecto de la relación forraje:concentrado en la dieta y del grupo racial sobre la digestibilidad de los componentes de la dieta

Al tomar en consideración toda la información proveniente de los dos grupos raciales y de las cuatro proporciones de forraje:concentrado, se detectó un efecto de la interacción de los dos factores principales ($P < 0.01$), motivo por el cual los valores obtenidos para cada una de las variables evaluadas se presentan en las figuras 1-5. Las tendencias observadas en los datos demuestran que los animales provenientes del grupo racial Panza Negra presentan consistentemente una mayor digestibilidad de la MS, FDN, FDA, hemicelulosa y celulosa de la dieta total respecto a los borregos Pelibuey cuando ésta es ofrecida a un nivel mayor al mantenimiento.

La incorporación de concentrados a las dietas de rumiantes, ha resultado en el incremento de energía, proteínas, minerales y vitaminas en la dieta, así como en la optimización en la utilización del alimento. Sin embargo, la suplementación con granos reduce la digestibilidad de las dietas que contienen forrajes, tanto en bovinos

Digestibilidad in vivo en borregos. Efecto de la relación forraje-concentrado en la dieta y del grupo racial

como en ovinos (Archimède *et al.*, 1995). El grado en el cual el concentrado afecta la digestión de la fibra depende de la naturaleza y proporción del concentrado, así como también de la calidad del forraje (Matejousky y Sanson, 1995).

En general, es aceptado que la adición de concentrado a la dieta de rumiantes incrementa la digestibilidad de la MS y de la MO (Molina-Alcaide, Martín-García y Aguilera, 2000; Fimbres *et al.*, 2002), lo cual puede variar de acuerdo al tipo de ingredientes empleados en cada experimento y al pH en el rumen. Cerrillo, Russell y Crump (1999) y Molina-Alcaide, Martín-García y Aguilera (2000) reportaron en cabras un aumento en la digestibilidad de todos los nutrientes, excepto con la PC.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones y características en que se efectuó este experimento, se puede concluir lo siguiente:

en el grupo racial Panza Negra se puede mencionar que bajo este nivel de consumo de alimento, al parecer, existe una tendencia consistente en que, a medida que se aumenta la cantidad de concentrado en la dieta, disminuyendo el forraje, se incrementa la digestibilidad de todos los componentes fibrosos de la misma hasta una proporción de 50:50, puesto que en las dietas de 40:60 se observa un ligero decremento en el comportamiento.

En el grupo racial Pelibuey, se presenta un comportamiento muy similar a los animales Panza Negra en la digestibilidad de la FDN, FDA, hemicelulosa y celulosa; mientras que en la digestibilidad de la MS, se observa un incremento sostenido en las dietas con los tres mayores niveles de concentrado en la misma respecto a la que contenía la máxima cantidad de forraje (70:30).

Al tomar en cuenta los datos generados en los dos grupos raciales y en las cuatro proporciones de forraje:concentrado, las tendencias observadas en los datos demuestran, al parecer, que los animales provenientes del grupo racial Panza Negra presentan consistentemente una mayor digestibilidad de la MS, FDN, FDA, hemicelulosa y celulosa de la dieta total respecto a los borregos Pelibuey cuando ésta es ofrecida a este nivel de consumo.

REFERENCIAS

- AOAC (2000). *Official Methods of Analysis*. 17.^a edición. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
- Archimède, H., D. Sauvant, J. Hervieu, C. Poncet y M. Dorleans (1995). “Digestive Interactions in the Ruminant Relationships between Whole Tract and Stomach

- Baumont, R., S. Prache, M. Meuret y P. Morand-Fehr (2000). "How Forage Characteristics Influence Behaviour and Intake in Small Ruminants: a Review". *Livestock Prod. Sci.*, núm. 64, pp. 15-28.
- Bunting, L. D., M. D. Howard, R. B. Muntifering, K. A. Dawson y J. A. Boling (1987). "Effect of Feeding Frequency on Forage Fiber and Nitrogen Utilization in Sheep". *J. Anim Sci.*, núm. 64, pp. 1170-1177.
- Charalampopoulos, D., S. Pandiella y C. Webb (2002). "Application of Cereals and Cereal Components in Functional Foods: a Review". *Int. J. Food Microbiol.*, núm. 79, pp. 131-141.
- Cerrillo, M. A., J. R. Russell y M. H. Crump (1999). "The Effects of Hay Maturity and Forage to Concentrate Ratio on Digestion Kinetics in Goats". *Small Rum. Res.*, núm. 32, pp. 51-60.
- Cheeke, P. R. (2004). *Applied Animal Nutrition, Feeds and Feeding*. 3.^a edición. New Jersey: Prentice Hall.
- Cheng, K. J., C. W. Forsberg, H. Minato y J. W. Costerton (1991). "Microbial Ecology and Physiology of Feed Degradation within the Rumen". En: T. Tsuda, Y. Sasaki y R. Kawashima (eds.). *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*. Toronto, ON: Academic Press, pp. 595-624.
- Church, D. C. (1993). *The Ruminant Animal. Digestive Physiology and Nutrition*. 2.^a edición. New Jersey: Prentice Hall.
- Cochran, R. C. y M. L. Galyean (1994). "Measurements of *In Vivo* Forage Digestion by Ruminants". En: G. C. Fahey, Jr., M. C. Collins, D. R. Mertens y L. E. Moser (eds.). *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA, pp. 613-643.
- Colucci, P. E., G. K. MacLeod, W.L. Grovum, I. McMillan y D.J. Barney (1990). "Digesta Kinetics in Sheep and Cattle Fed Diets with Different Forage to Concentrate Ratios at Low and High Intake". *J. Dairy Sci.*, núm. 73, pp. 2143-2156.
- Domínguez Bello, M. G. y A. Escobar (1997). "Rumen Manipulation for the Improved Utilization of Tropical Forages". *Anim. Feed Sci. Technol.*, núm. 69, pp. 91-102.
- FAOSTAT (2003). *Agricultural Production*. Disponible en: <http://apps.fao.org/>
- Fébel, H. y S. Fekete (1996). "Factors Influencing Microbial Growth and the Efficiency of Microbial Protein Synthesis: a Review". *Acta Vet.*, núm. 44, pp. 39-56.

- Fimbres, H., J. R. Kawas, G. Hernández-Vidal, J. F. Picón-Rubio y C. D. Lu (2002). "Nutrient Intake, Digestibility, Mastication and Ruminal Fermentation of Lambs Fed Finishing Ration with Various Forage Levels". *Small Rum. Res.*, núm. 43, pp. 275-281.
- Galyean, M. (1997). *Techniques and Procedures in Animal Nutrition Research*. Texas Tech University.
- Goering, J. K. y P. J. Van Soest (1970). "Forage Fiber Analysis". *Agr. Handbook*, núm. 379. ARS. USDA.
- Harris, B., Jr. (1993). "Nonstructural and Structural Carbohydrates in Dairy Cattle Rations". Cooperative Extension Service. The Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/ds163>.
- Jarvis, G. N., C. Strompl, D. M. Burgess, L. C. Skillman, E. R. Moore y K. N. Joblin (2000). "Isolation and Identification of Ruminal Methanogens from Grazing Cattle". *Curr. Microbiol.*, núm. 40, pp. 327-332.
- Johnson, K. A. y D. E. Johnson (1995). "Methane Emissions from Cattle". *J. Anim. Sci.*, núm. 73, pp. 2483-2492.
- Jung, H. G., V. H. Varel, P. J. Weimer y J. Ralph (1999). "Accuracy of Klason Lignin and Acid Detergent Lignin Methods as Assessed by Bomb Calorimetry". *J. Agric. Feed Chem.*, núm. 47, pp. 2005-2008.
- Jurgens, M. H. (2001). *Animal Feeding and Nutrition*. 9.^a edición. Kendall/Hunt Publishing Company.
- Kellems, R. O. y D. C. Church (2001). *Livestock Feeds and Feeding*. 5.^a edición. New Jersey: Prentice Hall.
- Lana, R. P., J. B. Russell y M. E. Van Amburgh (1998). "The Role of pH in Regulating Ruminal Methane and Ammonia Production". *J. Anim. Sci.*, núm. 76, pp. 2190-2196.
- Lee, S. S., J. K. Ha y K. J. Cheng (2000). "Relative Contributions of Bacteria, Protozoa, and Fungi to *In Vitro* Degradation of Orchard Grass Cell Walls and their Interactions". *Appl. Environ. Microbiol.*, núm. 66, pp. 3807-3813.
- Mackie, R. I. y B. A. White (1990). "Recent Advances in Rumen Microbial Ecology and Metabolism: Potential Impact on Nutrient Output". *J. Dairy Sci.*, núm. 73, pp. 2971-2995.
- Matejousky, K. M. y D. W. Sanson (1995). "Intake and Digestion of Low-, Medium-, and High-quality Grass Hays by Lambs Receiving Increasing Levels of Corn

Supplementation". *J. Anim. Sci.*, núm. 73, pp. 2156-2163.

McAllister, T. A., H. D. Bae, G. A. Jones y K. J. Cheng (1994). "Microbial Attachment and Feed Digestion in the Rumen". *J. Anim. Sci.*, núm. 72, pp. 3004-3018.

McAllister, T. A. y K. J. Cheng (1996). "Microbial Strategies in the Ruminant Digestion of Cereal Grains". *Anim. Feed Sci. Technol.*, núm. 62, pp. 29-36.

McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh y C. A. Morgan (2002). *Animal Nutrition*. Englewood Cliff, NJ: Prentice Hall.

Minson, D. J. (1990). *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press.

Miron, J., D. Ben-Ghedalia y M. Morrison (2001). "Invited Review: Adhesion Mechanisms of Rumen Cellulolytic Bacteria". *J. Dairy Sci.*, núm. 84, pp. 1294-1309.

Molina-Alcaide, E., A. I. Martín-García y J. F. Aguilera (2000). "A Comparative Study of Nutrient Digestibility, Kinetics of Degradation and Passage and Rumen Fermentation Pattern in Goats and Sheep Offered Good Quality Diets". *Liv. Prod. Sci.*, núm. 64, pp. 215-223.

Montgomery, D. C. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Grupo Editorial Iberoamericana.

Morvan, B., F. Bonnemoy, G. Fonty y P. Gouet (1996). "Quantitative Determination of H₂-utilizing Acetogenic and Sulfate-reducing Bacteria and *Methanogenic Archaea* from Digestive Tract of Different Mammals". *Curr. Microbiol.*, núm. 32, pp. 129-133.

Municipio de Juárez (2010). *Mi ciudad – Características fisiográficas*. Disponible en: <http://www.juarez.gob.mx> (consulta: 1 de noviembre de 2010).

Orpin, C. G. y K. N. Joblin (1997). "The Rumen Anaerobic Fungi". En: P. N. Hobson y C. S. Stewart (eds.). *The Rumen Microbial Ecosystem*. Londres: Chapman and Hall, pp. 140-195.

Ørskov, E. R. (1999). "Supplement Strategies for Ruminants and Management of Feeding to Maximize Utilization of Roughages". *Prev. Vet. Med.*, núm. 38, pp. 179-185.

Pelchen, A. y K. J. Peters (1998). "Methane Emissions from Sheep". *Small Rum. Res.*, núm. 27, pp. 137-150.

Perry, T. W., A. E. Cullison y R. S. Lowrey (2002). *Feeds & Feeding*. 6.^a edición. New Jersey: Prentice Hall.

Digestibilidad in vivo en borregos. Efecto de la relación forraje-concentrado en la dieta y del grupo racial

- Pond, W. G., D. C. Church, K. Pond y P. A. Schoknecht (2005). *Basic Animal Nutrition and Feeding*. 5.^a edición. Wiley. 27
- Rémond, D., F. Meschy y R. Boivin (1996). "Metabolites, Water and Mineral Exchanges across the Rumen Wall: Mechanisms and Regulation". *Ann. Zootech.*, núm. 45, pp. 97-119.
- SAS Institute (1988). *SAS/STAT User's Guide* (Release 6.03). Cary, NC: SAS Inst.
- Stewart, C. S., H. J. Flint y M. P. Bryant (1997). "The Rumen Anaerobic Fungi". En: P. N. Hobson y C. S. Stewart (eds.). *The Rumen Microbial Ecosystem*. 2.^a edición. Londres: Blackie Academic & Professional, pp. 10-20.
- Stewart, C. S. y M. P. Bryant (1997). "The Rumen Bacteria". En: P. N. Hobson y C. S. Stewart (eds.). *The Rumen Microbial Ecosystem*. 2.^a edición. Londres: Blackie Academic & Professional, pp. 21-75.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Corvallis, Oregon: O and B Books.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson y B. A. Lewis (1991). "Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Non-starch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition". *J. Dairy Sci.*, núm. 44, pp. 3583-3597.
- Wallace, R. J. y M. A. Cotta (1988). "Metabolism of Nitrogen containing Compounds". En: P. N. Hobson (ed). *The Rumen Microbial Ecosystem*. Londres: Elsevier Applied Science, pp. 217-250.
- Williams, A. G. y G. S. Coleman (1997). "The Rumen Protozoa". En: P. N. Hobson y C. S. Stewart (eds.). *The Rumen Microbial Ecosystem*. 2.^a edición. Londres: Blackie Academic & Professional, pp. 76-139.
- Wolin, M. J. y T. L. Miller (1997). "Microbe-microbe Interactions". En: P. N. Hobson y C. S. Stewart (eds.). *The Rumen Microbial Ecosystem*. 2.^a edición. Londres: Blackie Academic & Professional, pp. 467-491.
- Yang, C. M. y J. B. Russell (1993a). "Effect of Monensin on the Specific Activity of Ammonia Production by Ruminal Bacteria and Disappearance of Amino Nitrogen from the Rumen". *Appl. Environ. Microbiol.*, núm. 59, pp. 3250-3254.
- (1993b). "The Effect of Monensin Supplementation on Ruminal Ammonia Accumulation *In Vivo* and the Numbers of Amino Acid-fermenting Bacteria". *J. Anim. Sci.*, núm. 71, pp. 3470-3476.

Cuadro 1. Digestibilidad *in vivo* (%) de los componentes fibrosos de la dieta total por tratamiento en el grupo racial Panza Negra.

Componentes	Tratamientos				
	70:30 1	60:40	50:50	40:60	eem 2
ms	79.3 ± 1.3 b	81.8 ± 1 ab	84.6 ± 0.9 a	83.9 ± 0.8 a	0.53
fdn	77.4 ± 1.5 c	80.8 ± 1.2 bc	84.8 ± 1.2 a	83.3 ± 1 ab	0.64
fda	77.2 ± 1.6 b	79.3 ± 1.3 ab	82.7 ± 1.4 a	80.4 ± 1.2 ab	0.69
Hemicelulosa	78 ± 1.7 c	84.4 ± 0.9 b	88.6 ± 0.8 a	87.9 ± 0.7 a	0.6
Celulosa	71.9 ± 1.9 c	75 ± 1.5 bc	79.5 ± 1.6 a	77.1 ± 1.4 ab	0.81

^{1/} Media ± error estándar.

^{2/} Error estándar de la diferencia de medias.

^{abc/} Las medias de las hileras con diferente literal difieren significativamente ($P < 0.05$).

Cuadro 2. Digestibilidad *in vivo* (%) de los componentes fibrosos de la dieta total por tratamiento en el grupo racial Pelibuey.

Componentes	Tratamientos				
	70:30 1	60:40	50:50	40:60	eem 2
ms	71.5 ± 1.6 c	80 ± 1.3 b	84.7 ± 1 a	83.1 ± 1 ab	0.72
fdn	69.3 ± 1.9 c	70.1 ± 2.5 c	84.8 ± 1.2 a	79.6 ± 1.8 b	1.04
fda	69.2 ± 1.9 c	69.8 ± 2.4 c	83.7 ± 1.1 a	75.3 ± 2.3 b	1.06
Hemicelulosa	69.6 ± 2 b	70.6 ± 2.9 b	87.1 ± 1.3 a	87.1 ± 1 a	1.12
Celulosa	62.9 ± 2.2 c	62.7 ± 3 c	80.2 ± 1.4 a	71.3 ± 2.6 b	1.27

^{1/} Media ± error estándar.

^{2/} Error estándar de la diferencia de medias.

^{abc/} Las medias de las hileras con diferente literal difieren significativamente ($P < 0.05$).

Digestibilidad in vivo en borregos. Efecto de la relación forraje-concentrado en la dieta y del grupo racial

Figura 1. Efecto del grupo racial y de la proporción de forraje:concentrado en la ración sobre la digestibilidad de la MS de la dieta ofrecida a borregos.

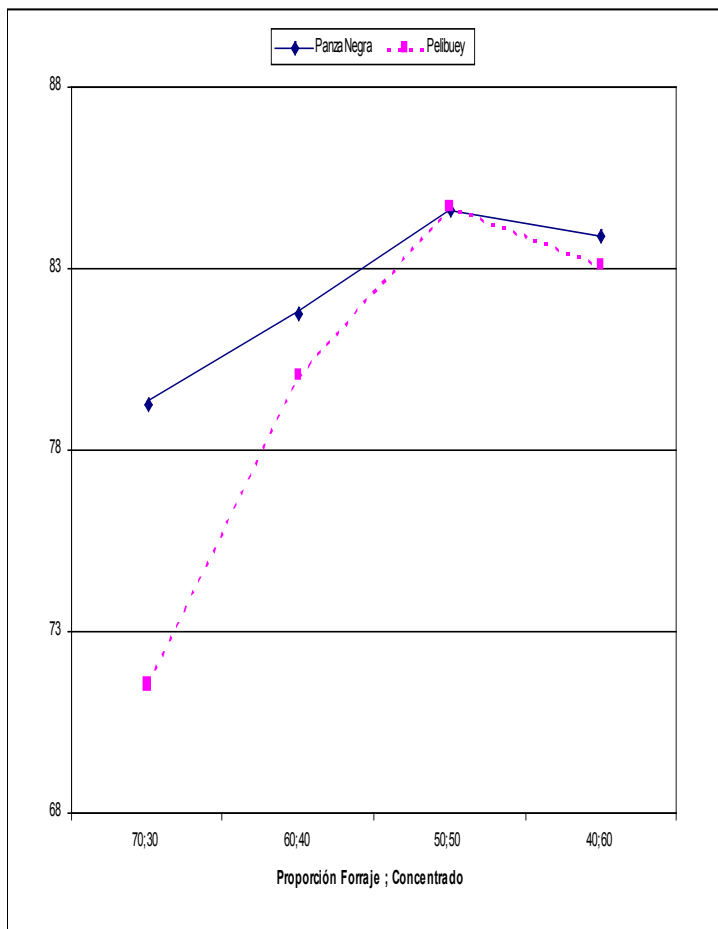
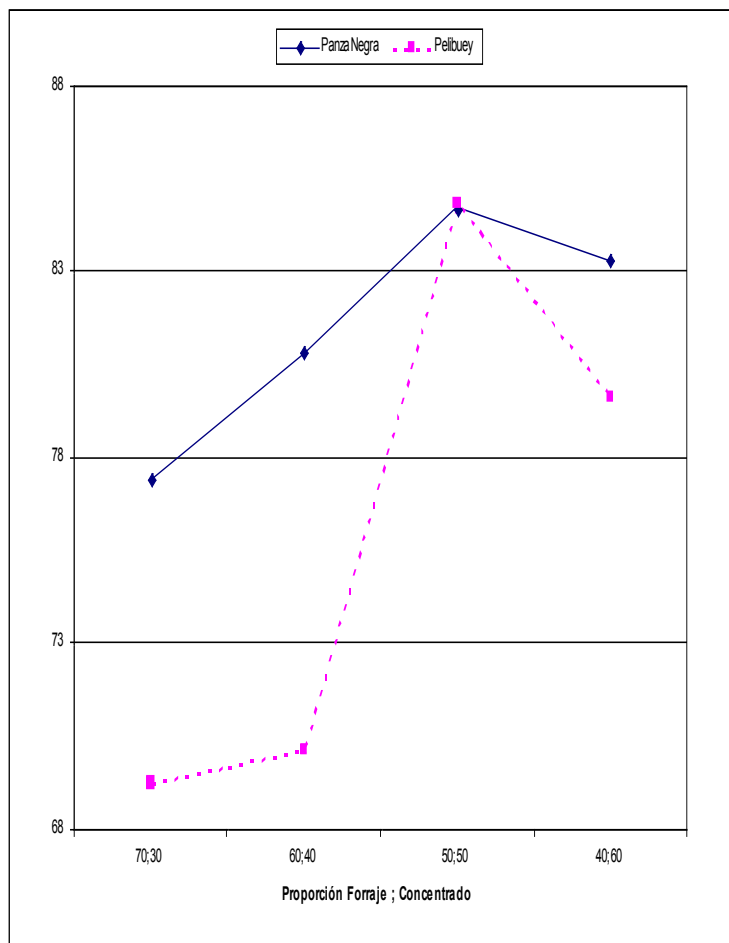


Figura 2. Efecto del grupo racial y de la proporción de forraje:concentrado en la ración sobre la digestibilidad de la FDN de la dieta ofrecida a borregos.



Digestibilidad in vivo en borregos. Efecto de la relación forraje-concentrado en la dieta y del grupo racial

Figura 3. Efecto del grupo racial y de la proporción de forraje:concentrado en la ración sobre la digestibilidad de la FDA de la dieta ofrecida a borregos.

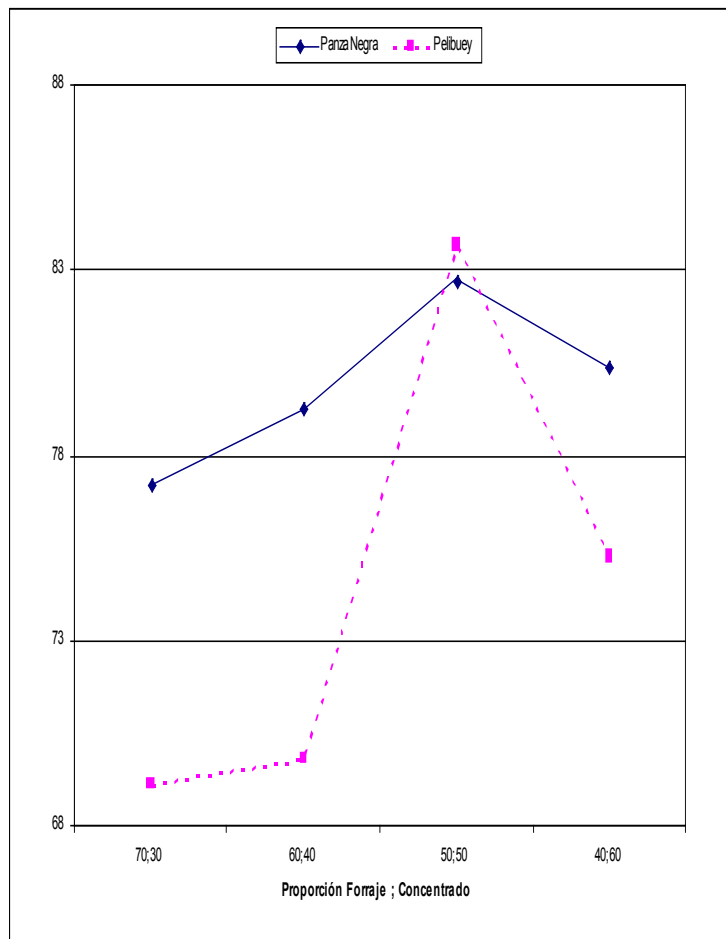
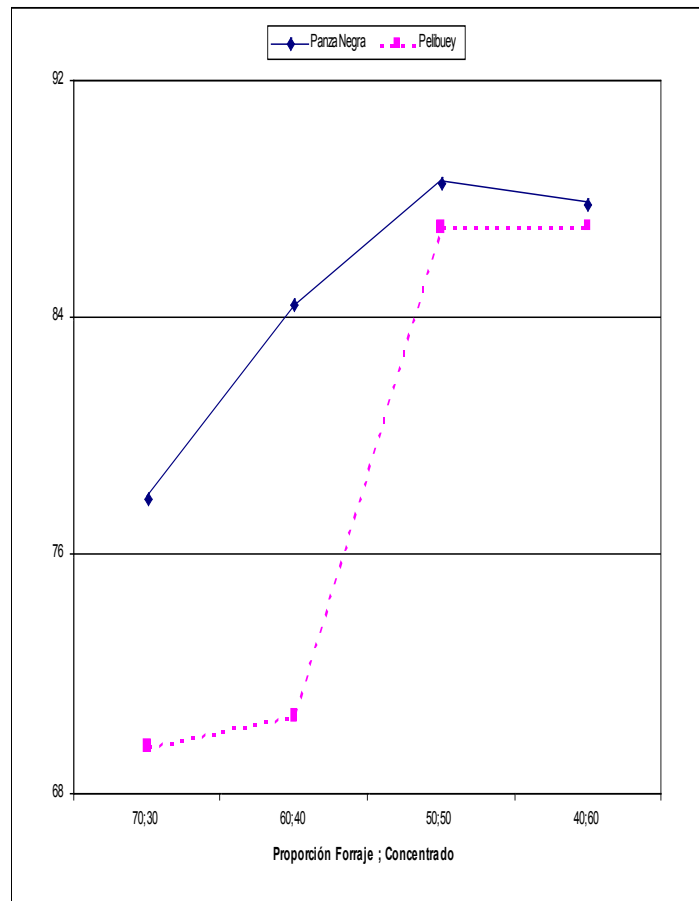
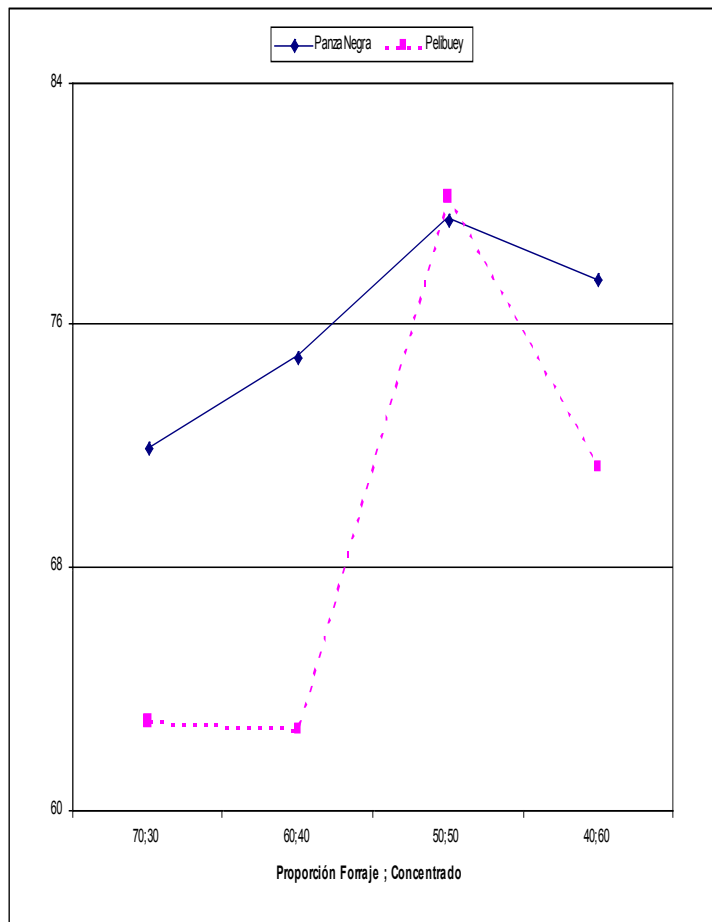


Figura 4. Efecto del grupo racial y de la proporción de forraje:concentrado en la ración sobre la digestibilidad de la hemicelulosa de la dieta ofrecida a borregos.



Digestibilidad in vivo en borregos. Efecto de la relación forraje-concentrado en la dieta y del grupo racial

Figura 5. Efecto del grupo racial y de la proporción de forraje:concentrado en la ración sobre la digestibilidad de la celulosa de la dieta ofrecida a borregos.



UACJ