

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE CIENCIAS AGRICOLAS



“EFECTO DE NIVEL DE INCLUSIÓN Y TIPO DE PROCESAMIENTO DE PAJA DE TRIGO SOBRE LA DIGESTIÓN DE LA FRACCIÓN NITROGENADA EN DIETAS DE FINALIZACIÓN PARA BOVINOS”.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

P R E S E N T A:

I.A.Z. JUAN OCTAVIO CHIRINO ROMERO

DIRECTOR DE TESIS
DR. MARTÍN FCO. MONTAÑO GÓMEZ

Mexicali, B.C., Noviembre de 2009.

ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN

DEL

CONSEJO PARTICULAR INDICADO, HA SIDO APROBADA POR

EL MISMO Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER

EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Dr. MARTIN FRANCISCO MONTAÑO GÓMEZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. ENRIQUE GILBERTO ÁLVAREZ ALMORA

SINODAL

DR. JOSÉ FERNANDO CALDERÓN CORTÉS

SINODAL

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California, al Instituto de Ciencias Agrícolas por el apoyo a la realización de este proyecto, en mi formación y superación académica.

A mi tutor el Ph.D. Martín Francisco Montaña Gómez, por dejarme trabajar bajo su tutela y por los conocimientos que, como efecto, me ha transmitido.

Al Ph.D. José Fernando Calderón Cortés, por su apoyo y asesoría durante la elaboración de este proyecto.

Al Ph.D. Enrique Gilberto Álvarez Almora, por su amistad y bondad en ayudarme con cualquier problema.

DEDICATORIAS

A mi mama:

María Soledad Romero Vázquez

Por apoyarme en cada etapa de mi vida y nunca perder la esperanza en mí.

A mis hermanas: Adriana C. De la Cruz Romero, Ana Lidia Chirino Romero, Gladys Fabiola Chirino Romero y mi hermano menor, que aun que físicamente ya no está con nosotros, siempre está presente en nuestra mente y corazón.

A todos mis amigos que en mi paso por esta universidad conocí.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	2
DEDICATORIAS.....	3
RESUMEN.....	7
SUMMARY.....	8
CONTENIDO.....	4
LISTA DE CUADROS.....	6
1. INTRODUCCION.....	9
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
2.1 Clasificación de la fibra.....	13
2.2 Metabolismo de las proteínas.....	14
2.3 Utilización del nitrógeno.....	16
2.4 Procesamiento de forrajes.....	17
3. MATERIALES Y METODOS.....	21
3.1.Localización del área de estudio.....	21

3.2 Procedimiento experimental.....	21
3.3 Preparación de las muestras.....	22
3.4 Procedimiento de laboratorio.....	23
3.4 Análisis estadístico.....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	26
5. LITERATURA CITADA.....	31

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales consumidas por los novillos.....	25
Cuadro 2. Influencia del nivel de inclusión y tipo de procesamiento de paja de trigo sobre características de digestión en rumen y tracto total.....	30

RESUMEN

Se realizó una prueba de digestión y metabolismo con la finalidad de evaluar el efecto de nivel de inclusión y tipo de procesado de paja de trigo sobre la digestión de la fracción nitrogenada en dietas de finalización para bovinos. Se emplearon cuatro novillos Holstein (216 kg PVV), habilitados con cánulas tipo "T" en rumen y duodeno proximal con la finalidad de evaluar los efectos de los tratamientos sobre la función digestiva, en un experimento con diseño Cuadrado Latino 4 x 4. Los tratamientos consistieron en dos niveles de suplementación de paja de trigo (7 vs 14%) y dos tipos de procesamiento (picado vs peletizado). Las dietas se basaron en maíz hojueado a vapor, las cuales contenían 0.4% de óxido de cromo como marcador. La digestión ruminal de la MO incrementó 7% en respuesta al nivel bajo de paja de trigo. El picado incrementó 13% ($P < .05$) el grado de digestión ruminal del N del alimento. El nivel alto de paja incrementó 7% el flujo de MO a duodeno. El nivel bajo de paja incremento 5% la digestión de MO en tracto total. No se observaron efectos de los tratamientos sobre N amoniacal, eficiencia del N microbial ni digestión total de N.

SUMMARY

A trial metabolism trial was conducted to evaluate the influence of two levels of supplementation of wheat straw (7 and 14%, DM basis) and type of processing (ground vs pelletized), on the feeding value of a steam-flaked corn-based finishing diet. Four Holstein steers (216 kg) with cannulas in the rumen and proximal duodenum, were used to evaluate treatment effects on digestive function in a 4 x 4 Latin square experiment. Chromic oxide was used as a digesta marker. The low level of straw increased 7% ($P < .05$) OM ruminal digestion. Grounding increased 13% ($P < .05$) the feed N ruminal digestion. The high level of straw increased 7% the flow of OM to duodenum. Total digestion of OM was increased 5% by the low level of straw. No effects of treatments were observed on ammonia-N, microbial efficiency or total N-digestion.

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de las poblaciones ha creado una competencia entre el hombre y los animales por el consumo de granos y sus derivados. El empleo de subproductos agrícolas constituye una alternativa viable que permite responder a la creciente demanda así como abaratar los costos de producción de los alimentos de origen animal (Anderson, 1978).

Anderson (1978), señala que los costos de alimentación para el ganado bovino representan del 50 al 75% de los gastos totales de producción. El empleo de pajas puede utilizarse con la finalidad de disminuir la utilización de granos en la dieta y por lo tanto los costos de alimentación, además, es bien sabido que este tipo de insumos poseen la ventaja de amortiguar el pH ruminal, favoreciendo así el desarrollo de la flora ruminal. Acorde con esto, Cullison (1961), señala que el empleo de forraje paletizado en dietas de finalización incrementó en 32% el consumo de alimento y mejoró en 63% la ganancia diaria de peso sobre el grupo de control. Es importante mencionar que efectos contrarios fueron observados por los mismos autores al utilizar dietas totalmente paletizadas, lo cual pudo deberse a alteraciones en el masticado del alimento, la reducción de la producción de saliva y una marcada disminución del pH ruminal, factores que pudieron alterar la función ruminal.

Existe una gran cantidad de residuos agrícolas y subproductos agroindustriales que pueden ser utilizados para alimentar el ganado, aunque por su bajo valor nutritivo es necesario procesarlos y adicionarle algún complemento alimenticio (Males, 1987). La paja de trigo podría utilizarse como ingrediente en las dietas para bovinos en engorda, aunque a la fecha su inclusión se ha visto limitada

principalmente por la baja disponibilidad de su contenido energético, por lo que es necesario encontrar las formas mediante las cuales se logre incrementar la utilización de sus componentes nutrimentales (Lesoing et al., 1980).

Acorde con Firkins et al. (1986) y Bourquin et al. (1994), dos de los principales factores que afectan tanto la velocidad como la extensión de la digestibilidad de los componentes de la dieta son la relación forraje:concentrado en la dieta y el tamaño de partícula del forraje, afectando de manera significativa el grado de eficiencia en cuanto a la síntesis de proteína microbial. Sobre esto, Merchen et al. (1986) sostienen que factores tales como el nivel de forraje pueden influir en la síntesis de proteína microbial. Al mismo tiempo, la adición de bajos porcentajes de forraje en dietas altas en concentrado además de prevenir problemas digestivos, ayuda a eficientar el consumo de energía (ENg) en animales alimentados con dietas de engorda (Galyean y Defoor, 2003). Al mismo tiempo, Stock et al. (1990), sostienen que es importante el considerar que en animales alimentados con dietas de finalización el forraje realiza otras actividades tales como el mejorar el consumo de alimento, además de reducir el riesgo de acidosis ruminal (Owens et al., 1998; Eastridge et al. 2009).

Nocek y Koh, (1988) reportaron una asociación positiva de la reducción del tamaño de partícula del forraje sobre su digestión, lo cual podría ser causado entre otros factores por un incremento de la superficie expuesta al ataque microbial, lo cual podría afectar positivamente la síntesis de proteína microbial (Firkins et al., 1986).

Por lo antes expuesto, el objetivo del presente proyecto fue el evaluar el efecto del nivel de inclusión y tipo de procesamiento de paja de trigo sobre la digestión de la

fracción nitrogenada en dietas de finalización para bovinos.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Por su volumen, las pajas de cereales son los subproductos más representativos en la alimentación animal. Los cereales que más se cultivan alrededor del mundo son; el maíz, la cebada, el sorgo, el trigo y el arroz (Acock et al., 1979; Walsh, et al., 2008). En el valle de Mexicali el trigo constituye el principal cultivo agrícola, reportando la Secretaría de Fomento Agropecuario (2008), que tan solo durante la última década se han destinado para ello una superficie total que va desde 81,000 a 105, 000 has, abarcando actualmente el 84% de la superficie cultivable.

Moncada y Quintero (2006) mencionan que por cada tonelada del cereal producido en el valle de Mexicali, Baja California, se generan aproximadamente 250 kg. de paja, teniendo como destino final en su gran mayoría la destrucción mediante quemas controladas. Esta forma de eliminar el subproducto de la cosecha del grano de trigo provoca una elevación en los índices de contaminación ambiental para ambos valles, además del empobrecimiento de la calidad del suelo agrícola. Estos residuos agrícolas representan una fuente potencial de alimentación para rumiantes siempre y cuando estos sean suplementados de manera adecuada ya que constituyen una fuente de fibra barata y voluminosa (Domínguez-Domínguez, 2002).

Klopfenstein (1978) y Samuels et al., (1991) definen a las pajas como residuos de cosechas, principalmente tallos y cantidades variables de hojas que permanecen después de retirar el grano. Por sus características físicas la fracción fibra de los forrajes posee funciones digestivas que exceden su simple valor energético o

proteico (C. de Blas, 1993). La fibra se fermenta en el rumen lentamente por la acción de las bacterias fibrolíticas, estas producen glucosa o pentosas como productos intermediarios, obteniendo acetato como producto final de la fermentación (Calsamiglia, 1997).

2.1 Clasificación de la fibra

Como componente fundamental de las raciones en la mayoría de los sistemas productivos de rumiantes encontramos a la fibra de los forrajes. Van Soets, (1982) define a la fibra bajo los siguientes parámetros:

- a) Fibra bruta (FB) de residuos insolubles y este contiene celulosa, contaminada con cantidades variables de hemicelulosa, lignina y compuestos nitrogenados.
- b) Fibra neutro detergente (FND): es el material insoluble en una solución detergente neutra y se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina además en menor cantidad residuos de almidón, ceniza y nitrógeno. Estima el contenido total de fibra en el alimento y esta relacionado con la digestibilidad y el consumo del alimento.
- c) Fibra ácida detergente (FAD): Es el material insoluble en una solución detergente ácida y esta constituida fundamentalmente por celulosa y lignina y otros compuestos minoritarios como nitrógeno y minerales. Esta relacionada con la fracción no digerible del forraje y es un factor importante en el calculo del contenido energético del alimento.

La FND y la FAD se diferencian fundamentalmente por la hemicelulosa. Willis et al. (1980) y Van Soest (1982) concuerdan que las pajas como componente fibroso en la dieta posee un alto contenido de celulosa, considerando a éstos subproductos agrícolas como una fuente potencial de energía para los rumiantes. Sin embargo Kawamura et al., (1973) mencionan que las pajas poseen baja digestibilidad, ya que su contenido de lignina de entre 4 y 5% inhibe el crecimiento microbial y la digestión enzimática, además de ser altas en sílice, con un contenido que varía entre 13 y 16%.

2.2 Metabolismo de las Proteínas

Según datos del NRC (1984) las pajas en promedio contienen un 4.15 % de proteína cruda (PC: de 3.6 a 4.4%) y debido a su asociación con material indigestible son poco utilizadas. Por su parte Birkelo et al. (1986) concuerdan con esto y señalan que las pajas son muy ricas en fibra y lignina, pero son poco alimenticias y pobres en proteínas digestibles.

La síntesis de la proteína microbial en el rumen provee la mayor cantidad de proteína, el rango y la magnitud con la que ocurre la degradación de la proteína dependen de la actividad proteolítica de los microorganismos ruminales y del tipo de proteína. Los péptidos y aminoácidos resultantes de la actividad proteolítica extracelular del rumen son transportados dentro de las células microbiales (Bach et al., 2005), que llega al intestino delgado en rumiantes para ser absorbida, entre el 50 a un 80% de los AA que llegan a intestino delgado son de origen microbial (Storm y Ørskov, 1984).

Como fuente de energía para la síntesis de proteína microbiana las bacterias pueden usar los carbohidratos y las proteínas procedentes de la dieta. Los carbohidratos son la principal fuente de energía para la bacteria y para la síntesis de proteína en combinación con amoníaco (Bach et al., 2005). La proteína es atacada por las bacterias y degradada por enzimas específicas, llamadas proteasas (proteólisis), aminoácidos y péptidos resultan de la actividad proteolítica extracelular en el rumen y son transportadas dentro de la célula microbiana (Tamminga, 1979).

Cuando la dieta tiene un exceso de proteína degradable en rumen (EDR) la proteína es degradada a nitrógeno amoniacal, el cual es adsorbido y posteriormente metabolizado a urea en el hígado, eliminándose la mayoría mediante la orina. Para la máxima síntesis de proteína microbiana las bacterias necesitan 1.2 grs de nitrógeno peptídico por kilogramo de materia orgánica fermentada en el rumen (Bach et al., 2005).

Como consecuencia de la degradación microbiana de la proteína se produce el amonio a nivel ruminal (Lewis et al., 1957). Aunque en un estudio descrito por St-Pierre (2001) se encontró que no exista una relación entre el pH ruminal y la eficiencia de la síntesis de proteína microbiana (EMPS), Abdoun et al. (2007) sostiene que el amoníaco es absorbido por el epitelio del rumen mediante un mecanismo que está influenciado por factores tales como el pH e interacciona al mismo tiempo con el transporte de K, Na, Mn y Mg a través de la membrana apical, además, Bach et al. (2005), mencionan que para la correcta digestión de los componentes nitrogenados de la dieta se requiere un pH ruminal de 5.5 a 7.

2.3 Utilización de Nitrógeno.

El extenso reciclaje de nitrógeno en el rumen representa una ventaja evolutiva de los rumiantes en términos de suplementación de absorción proteica y también de suministros de proteína absorbible durante periodos de deficiencia proteica en la dieta (Reynolds y Kristenstl, 2008).

El metabolismo de proteína en rumen es el resultado de la actividad metabólica de microorganismos ruminales, la eficiencia del uso de N es buena medida para describir la eficiencia del nitrógeno capturado por microorganismos ruminales, en contraste para eficiencia de la síntesis de proteína microbial. El nitrógeno no proteico es utilizado exclusivamente en forma de NH_3 (Guada, 1996; Bach et al., 2005).

El nitrógeno no proteico se encuentra presente en sustancias tales como el DNA, RNA, aminoácidos y pequeños péptidos, el nitrógeno presente en péptidos, aminoácidos y amoniaco procedentes de la dieta endógena es empleado por las bacterias ruminales para el crecimiento microbial (Bach et al., 2005). La NRC (1996) asume que el 80% del nitrógeno microbial esta en forma de aminoácidos.

El trato gastrointestinal juega un papel central para el éxito en el reciclaje del nitrógeno no proteico debido al efecto buffer de algunas enzimas, influyendo sobre la parte de suplementación del nitrógeno para los microorganismos del rumen y subsecuentemente suplemento proteico microbial para el animal, sus productos de desechos son empleados por degradación proteica, la salida del rumen del nitrógeno se realiza en forma de amoniaco (NH_3) y proteína microbial. El amoniaco producido por la degradación microbial de urea en dieta y aminoácidos endógenos es utilizada

para la fermentación microbial o absorbida y principalmente convertida a urea (Bach et al., 2005; Reynolds y Kristenstl, 2008).

El exceso de amonio que no es usado para la síntesis de proteína microbiana es absorbido a través de la pared del rumen convirtiéndose en urea en el hígado y excretada por la orina. Una alternativa y complementaria de la síntesis de la proteína microbial es la eficiencia del uso del nitrógeno (Bach et al., 2005). La eficiencia en la síntesis de proteína microbial es un indicador fiable del uso de energía y la eficiencia en la utilización de N (ENU) es un fiable indicador del uso del N (Hoover y Miller, 1992).

La energía disponible es mucho mayor entre el grano de trigo y la paja, reduciendo el nivel de amonio, y así la proporción de cereal en la mezcla debe incrementar el valor nutricional, cuando es recolectado el trigo quebrado el forraje para el ganado (Walsh *et al.*, 2008) y Rode et al. (1985) concuerdan que dietas con alto contenido de forraje incrementan en la síntesis de proteína microbial.

En la actualidad el procesamiento de forraje para su utilización en dietas para ganado bovino a causado un gran interés en los países desarrollados, como una técnica de aprovechamiento de los residuos como una fuente de energía (Dominguez-Dominguez, 2002).

2.4 Procesamiento de forrajes

El empleo de procesamientos físicos sobre la fracción fibra causan la reducción del tamaño de la partícula e incrementa los rangos de pasaje por eso hay un menor tiempo de fermentación en el retículo-rumen (Anderson, 1978). Garret et al.

(1980) mencionan que el uso de procesamientos físicos incrementa el valor nutritivo de forrajes altos en fibra. Estos consisten en reducir el tamaño de la partícula de la paja, además de aumentar la velocidad con que son ingeridos, hace que los animales tengan menos posibilidad de seleccionar el alimento de mejor calidad. Por lo cual es probable que su digestibilidad sea menor que la de éstos mismos cuando se administra sin moler (El-Yassin y Chester, 1991).

Los efectos más importantes de los procesamientos físicos están relacionados con efectos físicos sobre el tránsito digestivo. Por otra parte, los procesamientos físicos de los forrajes pueden suponer ventajas en determinadas circunstancias (forrajes de baja calidad) sobre parámetros productivos importantes (capacidad de ingestión). Por ello en algunos sistemas de alimentación, podría tener sentido controlar el tamaño de las partículas de forraje para conseguir incrementos de productividad (Domínguez-Domínguez, 2002).

Bowman y Firkinings, (1993) y Bourquin, et al. (1994) concuerdan que el procesamiento del forraje (granulado y peletizado) usualmente incrementa el consumo y la tasa de pasaje de la digesta en el rumen debido a que la reducción del tamaño de la partícula da como resultado el incremento del área de ataque de los microorganismos y su digestión. El peletizado es una aglomeración de ingredientes en comprimidos densos. Para realizarlo se somete a la paja a un procesamiento húmedo y con calor, hasta con temperaturas de 82-85C, y con 15.5-17% de humedad durante 30 a 45 segundos.

Por su parte Beever (1981) señala que el tratamiento físico del forraje empleando el molido y el peletizado, han demostrado que existe un aumento en su

valor nutritivo, especialmente en las dietas de menor calidad, además de reducir el grado de la digestión ruminal y aumentar la extensión de la digestión intestinal

Bourquin et al. (1994) realizaron un estudio en el cual compararon dos niveles de forraje y dos tipos de tamaño de partícula, usando 4 novillos Angus-Simental de aproximadamente 502 kg. en un experimento con modelo Cuadrado Latino de 4 x 4 con un factorial 2 x 2 utilizando dos niveles de forraje 60% y 96%, sobre tamaño de partícula del forraje, heno largo y picado utilizando un cedazo de 0.96 cm. Observaron que el promedio de la concentración de nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$) en rumen fue mayor en las dietas de 96% de forraje comparada con la dieta de 60% de forraje (5.3 mg/dL vs 3.75 mg/dL). Sin embargo, en este estudio la eficiencia de la síntesis de proteína cruda bacteriana (gramos de N/kilogramo de materia seca digerida en el rumen) no fue afectada por el procesamiento del forraje, pero aumentó (33.8 vs 30.8) en respuesta a las dietas con menor cantidad de forraje.

Cullison (1961) realizó un estudio con tres grupos de 12 terneros donde comparó el efecto de la utilización de zacate bermudagrass (30% de la dieta), picado y peletizado, en tres diferentes tamaños. Estos autores concluyeron que los pelets mejoran el rendimiento en dietas altas en fibra asociado generalmente con un aumento en la tasa de consumo. Este fenómeno podría ser explicado, por lo menos en parte, como resultado de un paso más rápido de la ingesta por el tracto digestivo.

Por su parte Rodríguez et al. (2004), realizaron un estudio con vacas lactantes, donde compararon el contenido de fibra con dos niveles de alfalfa alta el fibra 67% contra baja en fibra 39% así como dos tamaños de la partícula del forraje:

tamaño largo 3mm y tamaño pequeño 1 mm . Estos autores reportaron que la eficiencia en la síntesis de proteína microbial es afectada por el tamaño de partícula. Siendo menor cuando el tamaño de partícula fue de 3 mm (27.9 vs 31.3), afirmando a la vez que el nivel de fibra no afecta el flujo (g/d) de N microbial al tiempo que incrementa la degradación de la proteína cruda de la dieta en (54.7 vs 47.1) en dietas con el nivel alto de forraje.

El peletizado en raciones altas en forraje ha demostrado generalmente incrementos en el comportamiento productivo. Por otro lado, en raciones altas en granos se ha observado efectos contrarios. Este fenómeno puede ser explicado, al menos en parte, como resultado de una mayor velocidad de paso del forraje paletizado a través del tracto digestivo (Cullison, 1961).

Firkings, (1986) realizó un estudio con 4 Hereford (350 kg) y 4 Angus-Hereford (550 kg) para comparar el efecto y la interacción entre el tamaño de la partícula (picado vs molido), y dos niveles de consumo (60% y 90%). Obteniendo como resultados que el flujo de Nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) en duodeno fue mayor para los novillos alimentados con molido (6.0 g/d) que con picado (5.4 g/d), la alimentación con forraje molido normalmente resulta en un incremento de N duodenal en comparación con dietas de forraje picado.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del área de estudio.

El presente estudio se realizó en la Unidad de Metabolismo Digestivo del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la UABC, en la ciudad de Mexicali, B.C.

3.2 Procedimiento experimental.

Se utilizaron cuatro novillos Holstein (216 kg PVV) habilitados con cánulas tipo “T” en rumen y duodeno proximal (a 6 cm del esfínter pilórico) en un experimento, con la finalidad de evaluar el efecto de los tratamientos sobre la función digestiva. Las dietas experimentales utilizadas se muestran en la Tabla 1. A todas las dietas les fue adicionado óxido crómico a manera de marcador.

Los novillos se alojaron en corraletas individuales (3.9 m²) con comedero individual y bebedero automático compartido. Las dietas fueron ofrecidas diariamente a las 0800 y 2000 h. Los cuatro períodos experimentales consistieron en 10 d de ajuste a las dietas, seguido de un período de 4 d de colección, empezando el día 12 de abril de 2008 y finalizando el 06 de junio de 2008. Durante el período de colección se tomaron muestras de contenido duodenal y de heces a todos los novillos. El muestreo se realizó dos veces por día, acorde con el siguiente protocolo: d 1, 1050 y 1650; d 2, 0900 y 1500; d 3, 0730 y 1330; y d 4, 0600 y 1200. Cada una de las muestras individuales consistió en 750 ml de líquido duodenal, así como de 200 g (base húmeda) de materia fecal. Las muestras de cada animal dentro de cada

período fueron mezcladas para su posterior análisis.

El último día del tercer periodo experimental se tomaron muestras del contenido ruminal de cada novillo (200 ml) mediante una bomba de vacío (Cole Parmer Instrument, Vernon Hill, IL), se mezclaron y del resultante se tomó una alícuota para aislamiento de bacterias ruminales por centrifugación diferencial (Bergen et al., 1968).

3.3 Preparación de las muestras.

Se obtuvo la materia seca a partir de las muestras duodenales inmediatamente después de haber sido descongeladas a temperatura ambiente. Ya homogenizado el total de la muestra se depositó en un contenedor de capacidad de 20 litros y se mezcló utilizando un homogenizador (Fisher Products Co.). Posterior a esto se empleó un refractario donde se depositó una alícuota de 900 ml, se pesó y se desecó a 70° C durante 72 horas. Una vez transcurrido este periodo de tiempo, se homogenizó el tamaño de partícula utilizando para ello una licuadora, seguida de un molidor de café hasta obtener el tamaño indicado.

Las heces se descongelaron a temperatura ambiente, se homogenizaron manualmente y una cantidad de aproximadamente 200 g se colocó en forma extendida (aproximadamente 1 mm de grosor) en papel aluminio para desecarse a una temperatura de 70° C. Una vez desecadas, se homogenizó el tamaño de partícula utilizando para ello una licuadora, seguida de un molidor de café hasta obtener el tamaño indicado.

3.4 Procedimiento de laboratorio.

Las muestras generadas se sujetarán a todos, o parte de los siguientes análisis: Materia seca (MS; estufa desecando a 105 grados C, hasta peso constante), cenizas, N Kjeldhal y nitrógeno amoniacal de acuerdo con lo estipulado por la AOAC (1984), purinas (Zinn y Owens, 1986), y óxido crómico (Hill y Anderson, 1958).

La cantidad de materia orgánica microbiana (**MOM**), así como el nitrógeno microbiano (**NM**) que fluyó a duodeno fue calculado con base en los análisis de las bacterias aisladas en el fluido ruminal así como en las muestras obtenidas de duodeno; se usaron purinas como marcadores microbianos (Zinn y Owens, 1986). La materia orgánica fermentada (**MOF**) en rumen fue calculada de acuerdo a la cantidad de **MO** consumida y las proporciones de **MO** microbiana y **MO** total determinadas en duodeno. El **N** consumido que escapa de la digestión ruminal (proteína de escape) fue considerado como el equivalente al total de **N** que ingresa al duodeno menos la suma de las cantidades de **N** amoniacal y **N** microbiano que fluyó al duodeno.

3.5 Análisis estadístico.

El experimento fue analizado como un Cuadrado Latino 4 x 4 (Hicks, 1973), bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + C_j + H_k + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl}	=	Variable de respuesta
μ	=	Media general
τ_i	=	Efecto del i-ésimo tratamiento, $i=1.....t=4$
C_j	=	Efecto de la j-ésima columna, $j=1.....b=4$
H_k	=	Efecto de la k-ésima hilera, $k=1.....n=4$
ε_{ijkl}	=	Error experimental

Supuestos:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{ijk} &\sim \text{NI}(0, \sigma^2). \\ C_j &\sim \text{NI}(0, \sigma_c^2). \\ H_k &\sim \text{NI}(0, \sigma_k^2).\end{aligned}$$

Los efectos de los tratamientos fueron separados utilizando la prueba de diferencia mínima significativa; todo lo anterior de acuerdo con lo especificado por Hicks (1973).

Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales consumidas por los novillos

Concepto	14 % Paja de trigo		7% Paja de trigo	
	Picada	Peletizada	Picada	Peletizada
Maíz blanco, hojueado	70.00	70.00	77.00	77.00
Paja de trigo, picada	14.00		7.00	
Paja de trigo, peletizada		14.00		7.00
Melaza de caña	6.00	6.00	6.00	6.00
Canola, pelets	3.70	3.70	3.70	3.70
Grasa amarilla	2.80	2.80	2.80	2.80
Roca caliza	1.40	1.40	1.40	1.40
Urea	1.30	1.30	1.30	1.30
Sal TM ^a	0.35	0.35	0.35	0.35
Óxido de cromo ^b	0.35	0.35	0.35	0.35
Óxido de magnesio	0.10	0.10	0.10	0.10

^aSal conteniendo: CoSO₄, 68%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%; KI, .052% y NaCl, 92.96%.

^bAñadido a la dieta como marcador de digesta.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del experimento se observan en la Tabla 2. La digestión ruminal de la MO incrementó 7% (73 vs 68%, $P < .05$) en respuesta a la inclusión de paja a un nivel del 7% de la dieta total. No se observaron efectos del tipo de procesamiento de paja sobre la digestibilidad de MO. Acorde con nuestros resultados, Sultan y Loerch, (1992), reportaron que la digestibilidad ruminal de la MO fue 1.33 veces mejor para la dieta conteniendo el menor porcentaje de paja de trigo al comparar dietas conteniendo niveles del 42 y 70%.

Beever et al. (1981) y Bourquin et al. (1994) observaron una disminución de la digestión de MO en animales que consumieron forraje molido (cortado vs molido), lo cual acorde con estos investigadores pudo haber sido resultado de un menor pH ruminal, el cual probablemente se presentó debido a una disminución de la producción de saliva resultante de un menor tiempo de rumia. Está claro que el procesamiento excesivo de los forrajes puede causar una disminución del tiempo de permanencia de la dieta a nivel ruminal, lo cual podría afectar su digestibilidad.

La digestión ruminal del N del alimento 12.6% ($P < .05$) en respuesta al molido. Al mismo tiempo, se observó un incremento del 7.2% ($P < .05$) en respuesta al nivel bajo de paja. El mayor porcentaje de digestión se observó en respuesta a la dieta con 7% de paja picada. Así mismo, el peletizado incrementó la eficiencia del N ($P < .05$), independientemente del nivel de

paja que contenían las dietas. No se observaron efectos de los tratamientos sobre la eficiencia del N microbial.

En cuanto a flujo a duodeno, se observó efecto del nivel de paja sobre el contenido de MO, el cual incrementó (7.4%, $P < .05$) en respuesta a las dietas conteniendo 14% de paja picada. Estos resultados concuerdan con los presentados por Sultan y Loerch, (1992) y Bourquin et al. (1994), quienes observaron un incremento en el flujo a duodeno de MO en respuesta al incremento del nivel de paja de trigo en la dieta cuando los animales consumieron dietas altas en forraje, lo cual puede explicarse en parte a la tendencia que existe a presentarse una menor digestibilidad ruminal del forraje a medida que aumenta su nivel de inclusión en la dieta. Al mismo tiempo, se observó un incremento significativo ($P < .05$) del N y de N no amoniacal presente en abomaso en respuesta al peletizado al comparar las dietas conteniendo 14% de paja.

Tanto el nivel como el tipo de procesamiento afectaron ($P < .05$) la cantidad de N del alimento presente en duodeno. Al compararse los tipos de procesamiento se observó un incremento del 24.6%, en respuesta a la paja peletizada, mientras que el 14% de paja incrementó el flujo en un 18%. Firkings et al, (1986) observaron resultados similares al comparar el efecto del tamaño de partícula del forraje (picado vs molido). Estos autores sostienen que la alimentación con forraje extensamente procesado (molido) normalmente resulta en un incremento de N duodenal en comparación con dietas de forraje picado, debido

a la presencia de una mayor superficie de contacto propicia un incremento del nivel de digestión ruminal.

Aunque Beever et al. (1981) observaron una reducción de la proteína microbial en respuesta al paletizado, acorde con lo observado por Beever et al. (1981) y Merchen et al. (1986), en nuestro experimento no se observaron efectos de los tratamientos sobre N amoniacal ni el N microbial, lo cual de acuerdo con lo expuesto por Firkings, (1986), pudo haberse debido al consumo limitado de alimento al que sometimos a nuestros animales, ya que el flujo duodenal de N bacteriano usualmente es mayor en animales con altos consumos de alimento. Bourquin et al. (1994) observaron menores concentraciones de N amoniacal con el nivel bajo de forraje al estar comparando don niveles de forraje en la dieta (60 vs 96%). Estos autores sugieren que esto pudo ser debido a una más rápida incorporación del N a la síntesis de proteína microbial.

Sobre esto mismo, Merchen et al. (1986) sostienen que la estimulación de síntesis de proteína bacteriana y por lo tanto el aumento de flujo a duodeno de N bacterial puede darse en respuesta a cambios en el nivel de almidón en la dieta. El nulo efecto de los tratamientos sobre la síntesis de proteína microbial pudo deberse a que en nuestro experimento las dietas fueron balanceadas con la finalidad de contener cantidades similares de almidón.

El nivel de paja afectó la digestión total de MO. El incluir paja de trigo a un nivel del 14% se observó un incremento (4.8%:P < .05) sobre la digestión de MO en tracto total. Lo anterior se explica en parte por la baja

digestibilidad observada a nivel ruminal. Nuestros resultados son similares con los presentados por Sultan et al. (1992), quienes reportaron un incremento en la digestibilidad de MO al comparar dietas con altos porcentajes de paja de trigo (42 vs 72). Aunque no observamos efecto de procesamiento, Alawa y Owens (1984), reportaron que el cortado o paletizado incrementa la digestibilidad de la MO en un 15 y 16%, respectivamente, en comparación con la paja de trigo molida. No se observó efecto de los tratamientos sobre la digestión de N en tracto total. Acorde con nuestros resultados, Bourquin et al. (1994), no observaron efecto del nivel de forraje sobre la digestión en tracto total del N.

Cuadro 2. Influencia del nivel de inclusión y tipo de procesamiento de paja de trigo sobre características de digestión en rumen y tracto total.

Variable	14 % Paja de trigo		7% Paja de trigo		CME
	Picada	Peletizada	Picada	Peletizada	
Consumo, g/d					
MS	4324.00	4324.00	4371.00	4277.00	
MO	4079.97	4057.70	4165.13	4073.01	
N	89.02	88.52	88.88	86.81	
Flujo a duodeno, g/d					
MO ^{bce}	1980.66	1973.16	1882.21	1779.91	60.29
N ^d	97.12	104.86	100.66	99.73	2.23
NH-N	5.14	5.49	5.68	4.63	0.49
No amoniacal-N ^d	91.97	99.36	94.98	95.10	1.96
Microbial N	66.25	64.97	73.66	67.13	2.79
Alimento-N ^{ae}	25.72	34.39	21.31	27.97	2.06
Digestión ruminal, %					
MO ^{bce}	67.97	67.56	72.77	72.45	0.01
Alimento-N ^{adefg}	70.59	62.04	76.42	66.42	0.02
Eficiencia del N microbial ^h	23.74	23.57	24.44	22.93	1.07
Eficiencia del N ^{ai}	1.03	1.10	1.07	1.11	0.02
Digestión en tracto total, %					
MO ^e	80.39	80.00	84.03	83.20	0.01
N	74.09	72.90	76.74	76.36	0.01

^aEfecto de procesamiento (P <.05)

^bTMT1 vs TMT4 (P <.05)

^cTMT2 vs TMT4 (P <.05)

^dTMT1 vs TMT2 (P <.05)

^eEfecto de nivel(P <.05)

^fTMT3 vs TMT4 (P <.05)

^gTMT2 vs TMT3 (P <.05)

^h Eficiencia microbiana = Nitrógeno microbiana, g/kg de MO fermentada.

ⁱ Eficiencia del Nitrógeno = Flujo de N no amoniacal hacia el intestino delgado/N consumido.

5. LITERATURA CITADA

- Alawa, J. P. and E. Owen. 1984. The effects of milling and sodium hydroxide treatment on intake and digestibility of wheat straw by sheep. *Anim. Feed Sci. Tech.* 11:149.
- AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis* (14th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Abdoun, K., F. Sutmpff and H. Martens. 2007. Ammonia and urea transport across the rumen epithelium. A review. *Anim. Health Res. Rev.* 7:1-17.
- Acock, C. W., J. K. Ward, I. G. Rush and T. J. Klopfenstein. 1979. Wheat straw and sodium hydroxide treatment in beef cow rations. *J. Anim. Sci.* 49: 354-360.
- Anderson, D. 1978. Use of cereal residues in beef cattle production systems. *J. Anim. Sci.* 46:849-861.
- Bach, A., S. Calsamiglia and M. D. Stern. 2005. Nitrogen metabolism in rumen. *J. Dairy Sci.* 88:9-21.
- Beever, D. E., D. F. Osbourn, S. B. Cammel, and R. A. Terry. 1981. The effect of grinding and pelleting on the digestion of Italian ryegrass and timothy by sheep. *Br. J. Nutr.* 46:357-369.
- Birkelo, C. P., D. E. Johnson and G. M. Ward. 1986. Net energy value of ammoniated wheat straw. *J. Anim. Sci.* 63:2044-2052.
- Bourquin, L. D., E. C. Titgemeyer, and N. R. Merchen. 1994. Forage level and particle size effects on orchardgrass digestion by steers: I. Site and extent of organic matter, nitrogen, and cell wall digestion. *J Anim. Sci.* 72:746-758.

- Bowman, J. G. and J. L. Firkins. 1993. Effects of forage species and particle size on bacterial cellulolytic activity and colonization in situ. *J. Anim. Sci.* 71:1623–1633.
- C. de Blas B. y P. García Rebollar, 1993. Tamaño de partícula de los forrajes en la alimentación de vacas lecheras y conejos. Bases fisiológicas y recomendaciones. Departamento de Producción Animal, University Politécnica de Madrid. IX Curso de especialización FEDNA
- Calsamiglia, S. 1997. Nuevas bases para la utilización de fibra en dietas de rumiantes. Departamento de patología y producción animal, Universidad Autónoma de Barcelona. XIII Curso de especialización FEDNA Madrid.
- Cullison A. E. 1961. Effect of Physical Form of the Ration on Steer Performance and Certain Rumen Phenomena. *J. Anim. Sci.* 20:478-483.
- Domínguez Domínguez, J., Miguel González Valadez, Guillermo Muñoz Hernández. 2002, Agrociencia. Colegio de postgraduados, Texcoco, México. Vol 36, pp. 593-604.
- Eastridge M. L., P. B. Bucci and C. V. Ribeiro, 2009. Feeding equivalent concentrations of forage neutral detergent fiber from alfalfa hay, grass hay, wheat straw, and whole cottonseed in corn silage based diets to lactating cows. *Animal Feed Science and Technology*, 159:86-94.
- El-Yassin F. A., J. P. Fontenot and P. H. Chesfer. 1991. Fermentation characteristics and nutritional value of ruminal contents and blood ensiled with untreated or sodium hydroxide-treated wheat straw. *J. Anim. Sci.* 69:1751-1759.

- Firkins J. L., L. L. Berger, N. R. Merchen, and G. C. Fahey. 1986. Effects of forage particle size, level of feed intake and supplemental protein degradability on microbial protein synthesis and site of nutrient digestion in steers. *J. Anim. Sci.* 62:1081-1094.
- Galyean M. L. and P. J. Defoor 2003. Effects of source and level on intakes by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81:8-16.
- Garret, W. N., H. G. Walter, G. O. Kohler, M. R. Hart and R. P. Graham. 1980. Steam treatment of crop residues for increased ruminant digestibility. *Lamp feeding studies. J. Anim. Sci.* 51: 409-413.
- Guada J. A. 1996. Características del sistema de Cornell (CNCPS) como modelo de valoración proteica y energética para rumiantes. Departamento de producción animal y ciencia de los alimentos, Universidad de Zaragoza. XII Curso de especialización FEDNA Madrid. *J. Nutr.* 52:613–620.
- Hicks, C. R. 1973. *Fundamental concepts in the design of experiments.* Holt. Rinchart and Winston, Inc.
- Hill, F. N. and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with chicks. *J. Nutr.* 64:587.603.
- Hoover W. H., and T. K. Miller. 1992. Rumen digestive physiology and microbial ecology. *Bull. 708T, Agric. Forestry Exp. Sta., West Virginia University, Morgantown, WV.*
- Kawamura, O. T., M. Senchu, and T. Matsumoto. 1973. Histicchemical studies on the rumen digestion of the rice straw cell wall and on the chemical dtermination of its non-nutritive residue. *J. Agric. Res.* 24:183-191.

- Klopfenstein, T. 1978. Chemical treatment of crop residues. *J. Anim. Sci.* 46:841-848.
- Lesoing, G., I. Rush, T. Klopfenstein, and T. Ward. 1980. Wheat straw in growing cattle diets. *J. Anim. Sci.* 51: 257-262.
- Lewis D., K. J. Hill and E. F. Annison. 1957. Studies on the portal blood of sheep. 1. Absorption of ammonia from the rumen of the sheep. *Biochem. J.* 66:587-592.
- Males J. R. 1987. Optimizing the Utilization of Cereal Crop Residues for Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 65:1124-1130.
- Merchen N. R., Firkins J.L. and Berger I.L. 1986. Effect of intake and forage level on ruminal turnover rates, bacterial protein synthesis and duodenal amino acid flows in sheep. *J. Anim. Sci.* 62:216-225.
- Moncada, A. y M. Quintero, 2006. Contaminación y medio ambiente en Baja California. Ed Purrua. Mexicali, Baja California.
- Nocek. J. E. and R. A. Kohn. 1988. In situ particle size reduction of alfalfa and timothy hay as influenced by form and particle size. *J. Dairy Science.* 71:935-945.
- NRC. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 6th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th ed. National Academy Press, Washington, DC.

- Owens, F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill, and D. R. Gill. 1998. Acidosis in cattle: A review. *J. Anim. Sci.* 76:275-286.
- Reynolds C. K. and N. B. Kristensen. 2008. Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: An asynchronous symbiosis. *J. Anim. Sci.* 86: 293-305.
- Rode L. M., D. C. Weakley, and L. D. Satter. 1985. Effect of forage amount and particle size in diets of lactating dairy cows on site of digestion and microbial protein synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 65:101-111.
- Rodríguez, M., S. Calsamiglia, and A. Ferret. 2004. Effects of Fiber Content and Particle Size of Forage on the Flow of Microbial Amino Acids from Continuous Culture Fermenters. *J. Dairy Sci.* 87:1413–1424.
- Samuels W. A., J. P. Fontenot., V. G. Allen and M. D. Abazinge 1991. Seafood processing wastes ensiled with straw: utilization and intakes by sheep. *J. Anim. Sci.* 69: 4983-4992.
- Secretaria de Fomento Agropecuario (2008). Gobierno del Estado de Baja California. Mexicali, B.C.
- Sultan, J. I., F. L. Fluharty, J. L. Firkins and S. C. Loerch. 1992. Effects of supplemental protein source and alkaline hydrogen peroxide treatment of wheat straw on site of nutrient digestion and flow of nitrogenous compounds to the duodenum of steers. *J. Anim. Sci.* 70:3909-3915.
- Stock, R. A., M. H. Sindt, J. C. Parrott, and F. K. Goedecken. 1990. Effects of grain type, roughage level and monensin level on finishing cattle performance. *J. Anim. Sci.* 68:3441-3455.

- Storm, E., and E. R. Ørskov. 1984. The nutritive value of rumen microorganisms in ruminant. 4. The limiting amino acids of microbial protein in growing sheep determined by a new approach. *Br. J. Nutr.* 52:613–620.
- St-Pierre, N. R. 2001. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *J. Dairy Sci.* 84:741-755.
- Tamminga S., 1979. Protein degradation in the forestomachs of ruminants. *J Anim. Sci.* 49:1615-1630.
- Van Soets P. J. 1982. *Nutritional Ecology of the Ruminant* O & B Books, Inc., Corvallis, OR.
- Walsh K., P. O. O'Kiely, A. P. Moloney and T. M. Boland. 2008. Intake, digestibility, rumen fermentation and performance of cattle fed diets based on whole-crop wheat or barley harvested at two cutting heights relative to maize silage or *ad libitum* concentrates. *Animal feed Science and Technology.* 144: 257-258.
- Willis, C. M., O. T. Stallcup and D. L. Kreider. 1980. Influence of sodium hydroxide and enzyme addition on nutritive values of rice straw. *J. Anim. Sci.* 50:303-308.
- Zinn, R. A. and F. N. Owens. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 66:157.