

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRICOLAS



**INFLUENCIA DE TIPO DE PROCESAMIENTO DE GRANO DE MAIZ Y PESO
VIVO DE NOVILLOS HOLSTEIN ALIMENTADOS CON DIETAS DE
FINALIZACION**

TESIS

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

PRESENTA

M.C. Juan Octavio Chirino Romero

Director de tesis

Dr. Martin Francisco Montaña Gómez

Co-Director de Tesis

Dr. Víctor Manuel González Vizcarra

Asesores

Dr. Alberto Barreras Serrano

Dr. José Fernando Calderón y Cortés

Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MEXICO

SEPTIEMBRE DE 2013

Influencia de tipo de procesamiento de grano de maíz y peso vivo de novillos Holstein alimentados con dietas de finalización. Tesis presentada por Juan Octavio Chirino Romero como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:

Dr. Martín Francisco Montaña Gómez
Director Principal

Dr. Víctor Manuel González Vizcarra
Co-Director

Dr. Alberto Barreras Serrano
Asesor

Dr. José Fernando Calderón y Cortés
Asesor

Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez
Asesor

CONTENIDO

RESUMEN:.....	v
ABSTRACT:.....	vii
INTRODUCCIÓN	9
Hipótesis.-.....	11
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	12
Procesamiento de grano de maíz.....	12
Factores que afectan la digestibilidad del maíz.....	13
Maíz entero.....	14
Procesamiento en seco.....	15
Maíz de alta humedad.....	16
Maíz hojueado a vapor	18
Comparación de diferentes métodos de procesamiento	19
Efecto del tipo de procesamiento y lugar de absorción.....	21
Efecto del animal sobre la digestión.....	24
Efecto de la masticación.....	25
MATERIALES Y MÉTODOS	27
Unidad experimental	27
Preparación de las muestras	29
Procedimiento de laboratorio	29
Análisis estadístico	30
Tabla 1. Composición de las dietas experimentales consumidas por los novillos.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
Tabla 2. Influencia del peso del animal y tipo de procesamiento del maíz sobre características de digestión en rumen y tracto total.	38
Figura 1. Digestibilidad de FDN de novillos a diferentes pesos.	39
Conclusiones.....	40
Literatura citada.....	41

AGRADECIMIENTOS

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

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

Al Dr. Víctor Manuel González Vizcarra, por su apoyo, amistad y asesoría durante la elaboración de este proyecto.

Al Dr. Alberto Barreras Serrano, por su amistad y asesoría.

A la Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez por su amistad y apoyo formando un buen equipo de trabajo desde los inicios de mis estudios de posgrado y a los demás miembros del comité.

Al Dr. José Fernando Calderón y Cortés, por su participación en este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por ayudarme a desarrollar mi objetivo de un posgrado.

DEDICATORIA

A mi mamá:

María Soledad Romero Vázquez

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

A mis hermanas: Adriana C. De la Cruz Romero, Ana Lidia Chirino Romero, Gladys Fabiola Chirino Romero, a mi novia Iram ayudarme a ser mejor persona cada día y a las personas que ya no se encuentran físicamente con nosotros pero que son parte importante de la familia mi cuñado David Egan y hermano Mario Alberto.

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

RESUMEN

Seis novillos Holstein con canulas tipo "T" en rumen y duodeno proximal fueron utilizados en un experimento completamente al azar con medidas repetidas para evaluar la interacción del peso corporal (169, 264, 352 y 460 Kg) y procesamiento de grano (quebrado vs hojuela a vapor) sobre la digestión en dietas de finalización. Las dietas se basaron en 71% en maíz, utilizando óxido de cromo como marcador. El maíz hojueado a vapor incrementó 7.9 % (52.6 vs 60.7%, $P < .05$) la digestión ruminal de MO, la digestión ruminal del almidón en 14.5% ($P < .01$), la eficiencia ruminal de N en 14.4% ($P < .05$), la digestibilidad postruminal de MO (7.96%; $P < .05$), la digestibilidad postruminal de la FND ($P < .05$), la digestión del almidón postruminal en 42.73% ($P < .01$), la digestión postruminal del N 17% ($P < .01$), la digestión total de MO (9.64%, $P < .01$), la digestión total del almidón en 12.84% ($P < .01$) y la digestión total de N (6.23%; $P < .01$).

A medida que incrementó el peso de los animales (169, 264, 352 y 460 kg PV) la digestión ruminal de FDN disminuyó (46.77, 56.97, 38.18 y 36.13 %; $P < .05$), al tiempo que incrementó la eficiencia ruminal de N (1.0162, 1.1114, 1.0834 y 1.1883 %; $P < .01$), la eficiencia microbial (16.52, 17.93, 18.95 y 21.86 %; $P < .01$), la digestión postruminal de N de la dieta (69.94, 76.10, 78.77 y 86.21 %; $P < .05$), así como la digestión postruminal de FND ($P < .05$). No se observó efecto de PV sobre digestibilidad total de ninguno de los componentes de la dieta ($P > .10$). En base a los datos observados, nosotros concluimos que mientras el maíz hojueado a vapor puede proporcionar beneficios adicionales

para la digestión del almidón en duodeno y tracto total, mientras que el peso vivo no afecta la digestibilidad total de los principales componentes de la dieta.

ABSTRACT

Six Holstein steers with type "T" cannulas in rumen and proximal duodenum were used in a randomized experiment with repeated measurements to assess the interaction of body weight (169, 264, 352 and 460 Kg) and processing of grain (broken vs flake steam) on the digestion in diets of completion. The diets were based on 71% in corn, using oxide of chromium as a marker. Flake steam corn increased 7.9% (52.6 vs 60.7%, $P < .05$) OM ruminal digestion, at 14.5% starch ruminal digestion ($P < .01$), efficiency N rumen in 14.4% ($P < .05$), digestibility of postruminal OM (7.96%; $P < .05$), postruminal digestibility of NDF ($P < .05$), postruminal digestion of starch 42.73% ($P < .01$), postruminal digestion of N (17%; $P < .01$), total digestion of MO (9.64%, $P < .01$), total digestion of starch 12.84% ($P < .01$) and the total digestion of N (6.23%; $P < .01$).

To increased the weight of the animal (169, 264, 352 and 460 kg VW) rumen NDF digestion decreased (46.77, 56.97, 38.18 and 36.13%; $P < .05$), at the time that increased ruminal efficiency of N (1.0162, 1.1114, 1.0834 and 1.1883%; $P < .01$), microbial efficiency (16.52, 17.93, 18.95 and 21.86%; $P < .01$), postruminal digestion of N from the diet (86.21, 78.77 and 76.10, 69.94%; $P < .05$), as well as the postruminal digestion of NDF ($P < .05$). VW did not effect the total digestibility of none of the components of the diet ($P > .10$). Based on the observed data, we conclude that while corn steam flaked may provide additional

benefits for the digestion of starch in duodenum and total tract, and the live weight does not affect total digestibility of the major components of the diet.

INTRODUCCIÓN

En la producción intensiva de bovinos, el grano es el insumo energético más importante, representando usualmente de un 75 a un 85% de la dieta total ofrecida a rumiantes en los corrales de finalización. Por tal motivo, es imprescindible aprovechar al máximo el potencial nutritivo de los granos mediante el procesamiento más adecuado con el fin de obtener un óptimo rendimiento productivo del ganado.

El maíz se procesa comúnmente para el ganado vacuno alimentado con dietas de finalización con la finalidad de aumentar la digestibilidad del almidón (Galyean et al., 1979) y el rendimiento de corral de engorda (Turgeon et al., 1983 y Zinn et al., 2002). El incremento de la disponibilidad del almidón aumenta directamente la concentración de energía disponible, mejorando el valor nutricional de la dieta, cuyo aprovechamiento es de sí una función compleja que involucra factores tales como el contenido de nutrientes, así como las características físicas y químicas de cada uno de los componentes que afectan a la digestibilidad (Galyean et al., 1979; Turgeon et al., 1983).

Aunque un buen número de experimentos realizados con animales de un año indican que la digestibilidad del almidón es mayor para dietas con base de grano procesado que para grano entero (Ørskov et al., 1974; Galyean et al., 1979; Turgeon et al., 1983), en ensayos de rendimiento de engorde con becerros destetados generalmente no han sido observadas ventajas en respuesta al procesamiento de maíz, lo cual puede ser debido a condiciones tales como diferencias en relación a la extensión del masticado (Loerch y Fluharty, 1998).

Cuando se toma de decisiones entre los métodos de procesamiento granos, los ganaderos deben tener en cuenta no sólo el valor nutricional, sino también los costos asociados con el procesamiento y manejo (Cole et al., 1976; Zinn et al., 2002). Idealmente, lo que se busca es un procesamiento que incremente la digestibilidad de manera económica. A pesar de que los beneficios de procesamiento de maíz han sido debatido por los nutricionistas para la engorda por años (Pritchard y Stateler, 1997), los resultados no han sido consistentes para todos los métodos de procesamiento.

Existe muy poca información publicada respecto al efecto de peso vivo sobre la eficiencia digestiva en novillos alimentados con dietas de finalización altas en maíz. Stritzer y Gingins (1983), realizaron un estudio con animales de diferente peso vivo (325 vs 596 kg), en el cual midieron el porcentaje de granos que llegaron enteros al rumen el cual fue 24.4 y 58.4%, respectivamente, lo cual indica que el porcentaje de masticación del maíz disminuye en respuesta al aumento del peso vivo del animal. Uno de los graves inconvenientes que esto provoca es que los granos intactos que escapan del rumen se pasan como tales en las heces (Gorocica-Buenfil y Loerch, 2005).

En un trabajo hecho por Pordomingo et al. (2002), donde midieron la fracción de grano visible recuperado de las heces (GrHe), está fue menor en novillos de 155 kg comparado con novillos de 269 kg en un 5.8% ($P < 0.01$).

HIPÓTESIS

El maíz hojueado a vapor y el menor peso vivo de los novillos son factores que pueden mejorar la eficiencia digestiva en novillos alimentados con dietas de finalización altas en grano.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Procesamiento de grano de maíz

El maíz es incluido en las dietas de finalización con la finalidad de incrementar la concentración de energía de la dieta. Nutricionalmente, el almidón es el componente más importante en este tipo de dietas, cuyos granos de cereal usualmente son sometidos a procesos mecánicos con la finalidad de incrementar la digestión de sus componentes, ya sea a nivel ruminal y/o intestinal (Galean, 1976).

En un grano entero, las estructuras externas; el pericarpio y el endospermo cristalino, inhiben la penetración de agua de manera natural evitando así la solubilidad del almidón (Zinn y Owens, 2002). Por lo tanto, el procesamiento de los granos consiste en romper estas estructuras para hacer más accesible el almidón a la hidrólisis de las enzimas bacterianas ruminales y de las enzimas intestinales propias del animal (Owens y Zinn, 2005).

El procesamiento del grano típicamente envuelve el daño del grano y la reducción del tamaño de partícula con o sin adición de agua o vapor. El aplastado o rolado, ocasionalmente con adición de humedad para reducir las partículas finas y el polvo, es el método de procesamiento más común (Owens et al., 1997). Para incrementar aún más la digestión, los granos (enteros, rolados o molidos) pueden ser fermentados siempre y cuando el contenido de humedad se encuentre en un rango de 24 a 35% (Loerch y Gorocica, 2008).

Aunque el grano puede ser procesado para fines tales como simplificar la mezcla con otros ingredientes de la dieta y reducir la separación de los

componentes de la misma durante la preparación y al momento de servirlo en comedero, la razón principal para el procesado del grano para el ganado, es el mejorar su valor nutricional (Shaver y Majee, 2002). El valor alimenticio de un grano de cereal se da en función de su contenido de nutrientes, las características físicas y químicas que afectan la digestibilidad, la aceptabilidad (palatabilidad) y las interacciones asociativas con el proceso digestivo (Owens y Zinn, 2005). Los métodos de procesamiento son seleccionados de acuerdo a lo más económico con la finalidad de mejorar la digestibilidad y la aceptabilidad sin afectar perjudicialmente el pH ruminal ni causar disfunción digestiva alguna (Rainey et al., 2006).

Los costos de procesamiento varían ampliamente entre y dentro de los métodos de procesamiento. Con mayor procesamiento de grano, más supervisión y habilidad se necesita en términos de manejo del comedero y control de los trastornos metabólicos como la acidosis (Rowe et al., 1999). El método de procesamiento ideal para una engorda específica puede variar por factores tales como el tipo de ganado y la propiedad de la tierra (encargado de la engorda contra agricultor), así como el costo y la disponibilidad de equipos, mano de obra, energía y manejo del ganado (Owens et al., 1997). Otros factores que deberán considerarse incluyen el manejo extra así como el equipo, energía y mano de obra necesaria con el procesamiento de granos (Loerch y Gorocica, 2008).

Factores que afectan la digestibilidad del maíz

La digestibilidad del maíz sin procesar puede estar influenciada por numerosos factores. Estos incluyen la edad del animal, fuente y el nivel de forraje, fuente de proteínas, concentración de proteínas en la dieta y el pH del rumen, y

características del grano (dureza del núcleo, la humedad del núcleo, concentración de materia seca (Phillippeau et al., 1999). Por último, la masticación y rumia, así como los sistemas de alimentación pueden alterar el sitio y extensión de la digestión y la tasa de paso a través del tracto digestivo, los cuales varían con la edad del animal y el ambiente, composición de la dieta, la frecuencia de alimentación, y el nivel de fibra detergente neutra (FDN) de el forraje de la dieta; en general, más procesamiento reduce ligeramente la ganancia diaria de peso (GDP) (Owens et al., 1986). Esta reducción se puede atribuir a la reducción del consumo de materia seca (CMS) en gran parte. La reducción de CMS de fuentes de granos de rápida fermentación y de grano procesados ampliamente se le han atribuido a las tasas excesivas de producción de ácido del rumen y la en la acidosis subclínica (Fulton et al., 1979a, b) lo que aumenta día a día variación de CMS (Stock et al., 1995).

Maíz entero

Acorde con Loerch y Gorocica (2008), el maíz entero puede ser una opción para la alimentación en engorda sin pérdidas de digestibilidad potencial en dietas de alta concentración de energía metabolizable. El grano entero promueve una mayor salivación (mayor efecto fibra efectiva) y mayor pH ruminal con lo que se esperaría una reducción de la acidosis subclínica y un mayor consumo de materia seca en dietas ofrecidas ad libitum (Britton y Stock, 1986; Stock et al., 1995). El uso de grano entero promueve un mayor pasaje de partículas de almidón sin fermentar hacia el tracto inferior, con la consecuente mejora en la eficiencia de utilización de la energía (almidón) (Owens et al., 1986; Loerch y Gorocica, 2008).

Uno de los principales factores que limita el uso de maíz entero en la dieta del ganado de engorda es la presencia visual de granos de maíz enteros en las heces, cuando esto ocurre se cree que la mayoría del maíz entero no fue bien digerido (Orskow, 1986). Por su parte Gorocica et al. (2005) cuantificaron como la excreción de granos de maíz enteros es afectada por el nivel de forraje de la dieta. Aunque el ganado consumió cerca de 39,000 granos de maíz por día, los animales excretaron sólo alrededor de 500 granos por día. Independientemente del nivel de forraje en la dieta (18 vs 5% de ensilaje de maíz); menos de 2% de los granos consumidos apareció en las heces. Por lo tanto, a pesar de su alta visibilidad, sólo un pequeño porcentaje de granos escapó de la digestión. La digestibilidad del almidón de maíz para las dietas con maíz tanto quebrado o entero fue del 95%. Además, no se detectaron interacciones entre nivel de forraje y tipo de procesamiento de maíz sobre la digestibilidad del almidón en este estudio.

Procesamiento en seco

Acorde con Malcolm et al. (1991), la trituración (reducción de tamaño de partícula) que produce el rolado en seco o grano molido en seco con o sin adición de humedad ha sido la más comúnmente utilizado con la finalidad de mejorar la digestibilidad.

El moler el grano a un tamaño de partícula muy fino incrementará la digestión del almidón. Sin embargo, los beneficios en la digestión del almidón del molido fino son considerablemente menores que aquellos obtenidos con fermentación o con procesamiento con calor (Firkins et al., 2001). No obstante, el rolado fino o molido han incrementado el valor alimenticio de los granos mas

vítreos para novillos (Brethour, 1990). Fracturar granos con molidoras de alta velocidad generalmente resulta en un amplio rango de tamaño de partículas. La acción del rolado seco resulta en un rango de tamaño de partícula más estrecho. Sin embargo, el contenido de humedad puede alterar el tamaño medio de partículas y la distribución de partículas generados por ambos métodos de procesamiento (Zinn et al., 2002).

La falta de una respuesta sobre el rendimiento para el maíz quebrado en la alimentación del ganado puede ser que a largo plazo ocurren efectos acumulativos por la mayor rapidez de fermentación de almidón (Huntington, 1997 y Beauchemin et al., 2003). La acidosis subaguda (Fulton et al., 1979 a, b) y la disminución de la integridad del tejido epitelial ruminal (Bartle y Preston, 1992) pueden haber contribuido a la respuesta observada. Esta interacción de tiempo en la alimentación y procesamiento de granos puede explicar en parte las respuestas contradictorias al procesamiento de granos en la literatura.

Maíz de alta humedad

El óptimo de humedad en el grano de maíz debe permitir condiciones tales como una recolección fácil, empaquetado excelente, fermentación adecuada y rendimiento de los animales más deseable. El contenido de humedad que mejor cumple estos requisitos se produce poco después de que se alcanza la madurez fisiológica. Un intervalo aceptable para el contenido de humedad del maíz es 28-33 por ciento (Owens et al., 1997). Es importante mencionar que en esta etapa el maíz pierde en el campo aproximadamente 0.5 a 1 por ciento de humedad por día.

Mader (2006), menciona que el grano también puede ser dejado para fermentación anaerobia con la humedad inherente, ya sea antes que el grano se seque en el campo para producir grano de alta humedad o mediante la adición de agua al grano seco, formando por lo tanto grano reconstituido. El grano húmedo puede almacenarse entero o quebrado/molido. En el primer caso, se aconseja el agregado de conservadores (ácidos orgánicos o urea). El quebrado puede realizarse con una moladora de granos (cuya capacidad de trabajo debe estar relacionada con la de la cosechadora) o una máquina especial para ensilado de grano húmedo, que posee una pequeña tolva de recepción y dos rodillos moledores (Bucholtz et al., 1992).

Dentro de las ventajas que tiene, son la eliminación del costo del secado artificial del grano, el maíz de alta humedad puede ser cosechado dos a tres semanas antes de maíz para almacenamiento en seco con lo cual la pérdidas de materia seca de campo y la cosecha pueden ser disminuidos en un rango del 3 al 6 %. En comparación del maíz cosechado para almacenamiento en seco, existe un mayor potencial para el uso de residuos de mayor calidad al permitir el pastoreo de los tallos (Owens y Zinn, 2005). Entre las desventajas que esto conlleva, podemos mencionar la pérdida de una cierta flexibilidad en comparación con la comercialización de maíz seco; puede ser necesario equipo de procesamiento adicional e instalaciones para toda la cantidad de maíz alto en humedad (MAH) que deba ser almacenado. El deterioro puede ser un problema y las pérdidas de almacenamiento pueden ser mayores que para el maíz seco si el MAH no es ensilado correctamente. Además, puede requerir un manejo de comedero más detallado y puntual en comparación con el maíz seco (Mader, 2006).

Maíz hojueado a vapor

El procesamiento del grano en hojuelas consiste en cocer el grano en vapor a una temperatura de 100° C durante 30 – 35 minutos. Posteriormente, el grano cocido pasa a través de dos rodillos. Con la exposición al calor y la humedad, los gránulos de almidón se hidratan (Ward y Galyean, 1999), incrementando su tamaño y formando geles, proceso que es conocido como “gelatinización” (Owens y Zinn, 2005). El grano adquiere la forma de hojuela con una humedad de 17 – 20 %. El almidón que esta gelatinizado es fermentado de manera rápida y completamente dentro del rumen.

El maíz en hojuela aumenta la digestibilidad del almidón a nivel ruminal, postruminal, y del tracto digestivo total. La digestión postruminal del almidón se realiza mayoritariamente en el intestino delgado (Theurer et al., 1999b). Además del efecto sobre la digestibilidad del almidón, el consumo del grano en hojuelas, también presenta un incremento en el flujo de proteína microbiana al intestino. Este efecto benéfico es resultado de la mayor digestibilidad de la proteína del grano y un significativo incremento en la disponibilidad de energía para la síntesis microbiana (Owen y Zinn, 2005).

El maíz en hojuela reduce el CMS, la reducción en el CMS de granos de fermentación rápida y de granos procesados se ha atribuido a las tasas excesivas de producción de ácido en el rumen y acidosis subclínica (Fulton et al., 1979 a, b) lo cual aumenta la variación diaria del consumo (Stock et al., 1995). La reducción del CMS de las dietas en base a granos de maíz procesados también puede ser debido a una mayor digestibilidad del almidón. Con el aumento de la digestibilidad

del almidón, el contenido de energía de la ración se incrementa por lo que los animales no necesitan consumir tanto alimento para satisfacer sus necesidades de energía. La eficiencia del alimento también se mejora mediante el aumento de la densidad de energía de la dieta porque animales comen menos para satisfacer sus necesidades de energía (Conrad et al., 1964). Por lo tanto, en comparación con ganado alimentado con maíz entero, el ganado alimentado con granos procesados por lo general tiende a consumir similares cantidades de Energía Neta (EN), presentando además similares GDP, aunque la cantidad de alimento consumido sea menor.

Comparación de diferentes métodos de procesamiento

Las diferencias observadas a la fecha sobre sitio y extensión de la digestión del almidón han sido asociadas a factores tales como el tipo de procesamiento de maíz. En experimentos que compararon directamente maíz rolado en seco (MRS), MAH y maíz hojueado a vapor (MHV), la digestión ruminal del almidón promedió 77.0, 90.5, y 86.3%, y el total de la digestión del almidón tracto total promedió 96.2, 98.9, y 99.5% para, maíz rolado en seco, maíz de alta humedad y maíz hojueado a vapor, respectivamente (Galyean et al., 1976; Cooper et al., 2002b).

En una revisión realizada por Owens et al. (1986), se reportó digestibilidad ruminal del almidón en promedio de 59% para el maíz entero, 78% para el maíz molido, y 83% para el maíz en hojuelas. Estas diferencias en la fermentación ruminal del almidón pueden afectar el requerimiento para la proteína degradada en rumen. Aunque los niveles de proteína en el alimento utilizado comúnmente en la industria están en el rango de 13-14% con grano procesado en el alimento, el

ganado alimentado con maíz entero debe tener un requerimiento de proteína inferior. Este hecho tiene implicaciones ambientales porque el ganado sólo retiene aproximadamente el 30% de la proteína que consume.

Mientras que la alimentación de maíz quebrado disminuye los costos de procesamiento, las mejoras en el rendimiento de dietas basadas en maíz hojueado no son suficientes para compensar el costo de procesamiento de 5-10% (Owens y Zinn 2005). El uso de maíz quebrado puede ser ventajoso, en particular para los terneros alimentados con dietas altas en forraje por tiempo prolongado (Zinn y Owens, 2002). La utilización de maíz entero debe ser considerada para aplicaciones específicas, tales como en las raciones de iniciación con animales jóvenes donde no se encuentra diferencia entre maíz quebrado y hojueado (Loerch y Gorocica, 2008).

Presumiblemente, con altos consumos y en dietas de alto contenido de forraje fluyen grandes partículas de maíz a través del rumen antes que el mismo sea totalmente digerido (Wylie et al., 1990). Para exponer más superficie a la digestión y fracturar el pericarpio, la mayoría de los cereales son rolados o molidos antes de ser servidos al ganado. Para ganado más maduro de engorda, el grano de maíz seco es rolado o quebrado rindiendo 4 a 10 partículas por grano. Sorprendentemente, en algunas pruebas con ganado de engorda, la digestibilidad del almidón y la energía neta han sido mayores para granos enteros en comparación con los rolados, lo cual puede ser atribuido a la mayor retención ruminal para el grano de maíz entero con respecto al rolado (Owens et al., 1997).

Zinn y Owens, (2002), observaron que la digestión del almidón ruminal y total fue mayor para granos fermentados que para rolados secos. Siempre que la

digestión ruminal del almidón incrementa, el aporte de almidón postruminal decrece. Sin embargo, cuando la digestión ruminal incrementa el almidón que deja el abomaso es numéricamente más grande para maíz húmedo que para granos rolados seco. El maíz procesado a vapor conlleva un marcado incremento en la digestión ruminal por el ganado de engorda (Owen et al., 1986).

En contraste, los valores de desaparición posruminal del almidón abomasal de alta humedad, rolado a vapor (hojuela), rolado en seco, y el grano de maíz entero fueron 84, 82, 80 y 29%. No obstante, el flujo en abomaso de almidón es tan alta como 6,000 g al día, sin causar disminución en la fracción de almidón digerido postruminalmente (Owens y Zinn, 2005). La baja digestión posruminal del almidón de maíz entero indica que el tamaño de partícula grande reduce la digestión posruminal del almidón abomasal notablemente. Con maíz entero, el almidón que escapa a la digestión ruminal tiene un valor muy limitado para los rumiantes (Owens y Soderlund, 2006).

Efecto del tipo de procesamiento y lugar de absorción

La digestibilidad es el punto donde los productores de ganado pueden incrementar el valor de un alimento a través de alterar el sitio y la extensión de la digestión de granos (Owens y Soderlund, 2006). Los efectos de un método de procesamiento específico sobre el sitio y grado de digestión diferirán con el procesamiento del grano y de las condiciones de procesamiento, tales como tamaño final de partícula, humedad de la fermentación, el tiempo de fermentación, peso de prueba o grosor de las hojuelas y grado de gelatinización del almidón (Owens y Zinn 2005). Además, factores tales como la humedad del grano, tamaño de tamis o distancia de rolos, fermentación y tiempo de vapor también pueden

influir (Zinn et al., 2002). Finalmente (Corona et al., 2006), mencionan que la masticación y rumia, así como también el manejo de comedero pueden alterar el sitio y extensión de la digestión y la tasa de pasaje. Esto a su vez varía con la edad del animal, composición de la dieta, frecuencia de alimentación y forraje en la dieta o nivel de fibra (FDN).

Con novillos alimentados con maíz rolado en seco, 49.8% de almidón duodenal desapareció antes del ciego. Los pocos datos disponibles indican que 38 a 131% de almidón de maíz desaparecido postruminalmente de maíz rolado en seco el cual fue digerido en intestino grueso, no el intestino delgado. En contraste con maíz rolado seco o molido, para grano de maíz de alta humedad, para novillos alimentados con maíz en hojuelas a vapor, 88.4% de almidón de abomaso desapareció antes del ciego. Por lo tanto, para maíz de alta humedad y hojuelado, 71 y 96% de desaparición de almidón posruminal aparentemente se digiere en el intestino delgado (Owens y Zinn, 2005). Para los cereales con baja digestión posruminal del almidón (maíz grano hojueleado y quebrado en seco), aumentaron el fluido ruminal del almidón reduciendo la eficiencia de la energética. Pero para maíz de alta humedad y granos de hojuela, cambia un 20% más de almidón para ser fermentado en el rumen y los intestinos pueden aumentar la oferta de energía absorbible de 2 a 4% (Wylie, 1990). Pero si la digestión del almidón en el intestino delgado es menor del 70%, no habrá beneficio energético del incremento de la salida de almidón del rumen.

Owens y Zinn, (2005), observaron que a mayor nivel de N de la dieta disminuyó desaparición ruminal del almidón, cambiando de sitio la digestión del almidón hacia el intestino delgado. Por el contrario, un nivel más alto de almidón

de la dieta aumentó desaparición ruminal del almidón, cambiando de sitio la digestión del almidón hacia el rumen. A mayor nivel de FND en la dieta disminuyó la digestión tracto total del almidón, por la disminución de la desaparición de almidón tanto en el rumen y postruminalmente. El aumento de FND en la dieta cambió el sitio de la digestión del almidón hacia los intestinos. El nivel de consumo (materia seca como un porcentaje del peso vivo) dentro de clase de animales no tuvo ningún efecto significativo sobre la desaparición del almidón en tracto total, pero cambio el sitio de la digestión del almidón hacia los intestinos. Por último, una tasa alta de dilución ruminal, impulsado principalmente por un mayor consumo de alimento y FND, disminuyó la desaparición ruminal del almidón y, sorprendentemente, tendió a aumentar la desaparición posruminal del almidón, cambio de sitio de la digestión hacia los intestinos (Owens y Soderlund, 2006). Aunque las interacciones con método de procesamiento pueden existir, sobre la base de estas mediciones, para digestión máxima en tracto total del almidón, dietas ricas en N pero baja en FND son deseadas. Para obtener la máxima fermentación ruminal, las dietas bajas en FND y menores niveles de consumo como resultado de la tasa baja de dilución de concentrado sería preferible. Para una máxima desaparición postruminal de almidón abomasal, se prefiere una dieta rica en N y baja en FND (Owens, 1997). Finalmente, para cambiar el sitio de la digestión hacia el rumen, una dieta baja en N y FND y una tasa de pasaje baja concentrada es deseada. Pero para cambiar el sitio de la digestión hacia los intestinos, una dieta rica en proteínas y FND lo que resulta en una alta tasa de pasaje concentrado sería preferido (Owens y Soderlund, 2006).

Efecto del animal sobre la digestión

Stritzer y Gingins (1983), realizaron un estudio con grupos de animales de 325 y 596 kg PV. Ellos midieron el porcentaje de granos que llegaron enteros al rumen el cual fue 24.4 y 58.4%, respectivamente para los diferentes pesos, lo cual indica que el porcentaje de masticación del maíz disminuye con el aumento del peso vivo del animal. Por lo tanto, los granos intactos que escapan de la digestión ruminal se pasan como tales en las heces, debido a la incapacidad de digestión en el resto del tracto digestivo (Gorocica-Buenfil y Loerch, 2005).

En un trabajo realizado por Pordomingo et al. (2002), donde midieron la fracción de grano visible recuperado de las heces (GrHe) de becerros vs novillos, observaron que el rango de porcentaje de grano consumido que escapó en heces en fracciones visibles fue significativamente menor en becerros (7 a 9% vs de 9 a 9,5%; $P < 0.01$). Esto concuerda con las primeras observaciones reportadas por Shaw y Norton (1906), quienes observaron un menor porcentaje de grano sin digerir excretado en las heces de los terneros al compararlos vs vacas (3 vs 12%, respectivamente), sugiriendo que los terneros poseen un mayor tiempo de retención ruminal para el grano de cereal. Por su parte Gorocica, (2005), al realizar un experimento donde comparó tipos de procesamiento de grano y nivel de forraje, donde recolectó el total de heces y realizó una prueba de correlación entre digestibilidad de almidón y excretado en heces obtuvo que el coeficiente de correlación para el contenido de almidón en las heces y la digestibilidad del almidón maíz entero de ($r = -0.98$; $P < 0.0001$) y quebrado ($r = -0.95$; $< 0,001$) para dietas en base maíz en hojuelas. Similares datos son reportados por Zinn et al. (2002) ($r = -0.95$; $P < 0.01$). Owens y Zinn (2005), mencionan que existe una alta correlación del almidón en heces y la digestibilidad del almidón, lo cual indicaría

una diferencia sobre la digestibilidad del almidón siendo mayor para los animales de menor peso.

Cuando el ganado consume alimento limitado sin forraje en la dieta, la digestibilidad de las dietas basadas de maíz entero ha sido inferior a la de dietas basadas con maíz en hojuela (Murphy et al., 1994). El ganado con alimentación limitada consume su ración diaria en menos tiempo, usualmente en menos de una hora. Acorde con Rowe et al. (1999), la tasa de consumo de alimento puede provocar reducciones en el tiempo y/o extensión de la masticación y por tanto, en este caso de la digestibilidad del maíz.

Efecto de la masticación

Teniendo en cuenta que el ganado invierte aproximadamente 2 h/d comiendo, con 74 movimientos de la mandíbula por minuto durante la alimentación incluyendo las 10 ó 15 segundos de vueltas sin movimiento de la mandíbula entre bolos (Konoff et al., 2002), un novillo que consume 10 kg de la MS mastica el alimento a una tasa de 5,328 masticaciones/kg. Esto por supuesto no incluye ninguna masticación adicional que pudiera ocurrir durante la rumia (Días et al., 2011).

El comportamiento del masticado durante la alimentación y la rumia puede tener un efecto sobre la digestibilidad y el tiempo de retención media de la digesta (TMR) en el tracto gastrointestinal (GI) en rumiantes (Lechner-Doll et al., 1990; Clauss et al., 2010), y ha sido estudiado como un posible factor que afecta el CMS (Hendricksen et al., 1981; Poppi et al., 1981; Allison, 1985). Diversos estudios

también han demostrado la importancia de la relación entre rumia y los procesos digestivos en la comprensión de alimento consumido (Clauss et al., 2010). Coleman et al. (2003) informaron que el consumo mostró correlaciones más fuertes con rumia y TMR que con la química del forraje en ovinos alimentados con heno. De acuerdo con Clauss et al. (2009), el aumento de TMR aumenta eficiencia digestiva, pero también limita el consumo de alimento. Como resultado de ello, el aumento de la eficiencia del masticado parece ser una estrategia alternativa para mejorar la absorción de nutrientes.

Cuando el ganado tiene una dieta limitada sin forraje, la digestibilidad con dietas basadas en maíz entero fue menor que para dietas con maíz rolado (Murphy et al., 1994). El ganado con dieta limitada consume su alimentación diaria en menos de una hora. Estas tasa de consumo de alimento pueden reducir la extensión de masticación y por lo tanto la digestibilidad del maíz entero (Rowe et al., 1999). Por lo que en base a los resultados de estudios de digestión, sigue existiendo una considerable controversia sobre el beneficio de los diferentes tipos de procesamiento de los granos de cereal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Unidad experimental

Se realizaron 4 periodos utilizando en todas ellas los mismos 6 becerros de la raza Holstein. El peso inicial promedio fue de 169 kg PV para el primer periodo. Se esperó a que los animales llegaran a un peso de 264 kg PV para iniciar el segundo periodo, 352 Kg PV para el tercero y 460 kg PV para el cuarto periodo. Los tratamientos (dietas) consistieron en 2 tipos de procesamiento de grano (quebrado para el tratamiento 1 y en hojuela para tratamiento 2). Se ofrecieron las mismas dietas (Tabla 1) y cada uno de los animales recibió el mismo tratamiento en cada uno de los cuatro periodos, quedando distribuidos de la siguiente manera: animal 1, 2 y 3 TMT1; animal 4, 5 y 6 TMT2 en cada uno de los 4 periodos. Para evitar variación en el contenido nutrimental de los ingredientes de las dietas, todos fueron adquiridos de los mismos lotes al inicio del experimento. Los animales fueron habilitados con cánulas tipo "T" en rumen y duodeno proximal (a 6 cm del esfínter pilórico). A todas las dietas les fue adicionado óxido crómico a manera de marcador biológico.

Los novillos fueron alojados (instalaciones interiores) en corraletas individuales (3,9 m²) las cuales contaron con piso de concreto cubierto por alfombra de neopreno, bebederos automáticos compartidos y comederos individuales. El cuidado de los animales y las técnicas de manejo fueron aprobados por la Delegación Estatal en Baja California de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, acorde con la NOM-050-ZOO 1995. El consumo de materia seca fue restringido al 2.2% PV. Todos los novillos fueron alimentados diariamente por partes iguales a las 08:00 y 20:00 hrs. El óxido de cromo (utilizado como un marcador indigestible para estimar el flujo de nutrientes y la digestibilidad) se mezcló previamente con

ingredientes menores (urea, piedra caliza y sal de minerales traza) antes de la incorporación en las dietas. El experimento consistió en cuatro periodos de 21 días c/u, de los cuales 17 días fueron para adaptación a las dietas y de 4 días de toma de muestras. En cada prueba se recolectaron muestras de duodeno, heces y rumen. Las muestras duodenales (750 mL) y fecales (200 g) se tomaron de cada novillo dos veces al día durante los cuatro días de muestreo de cada prueba en los siguientes horarios: Día 1, 1030 y 1630 h; día 2, a las 0900 y las 1500 h; día 3, a las 0730 y las 1330 h y día 4, a las 0600 y las 1200h. Las muestras duodenales se tomaron utilizando recipientes de plástico de capacidad de 1L (Wide mouth square bottles, Evenflo[®]), antes y al finalizar la recolección de muestras se lavaron las cánulas y el área adyacente con agua corriente a presión. Las heces se recolectaron directamente del piso mediante espátula y se almacenaron en bolsas identificadas para cada animal. Las muestras de cada novillo recolectadas en cada prueba se identificaron y mezclaron con el propósito de formar muestras homogéneas compuestas las que se congelaron a -20° C (Kelvinator, KSGW200, 19.4 cf) para análisis posteriores. El último día de colección de muestra de cada prueba se tomaron muestras de contenido ruminal mediante el uso de una bomba de vacío (Cole Parmer Instrument, Vernon Hill, IL.), donde se determinó inmediatamente el pH del rumen (Orion 261S, Fisher Scientific, Pittsburgh, PA.) y se congelaron 10 ml de contenido ruminal para la determinación de ácidos grasos volátiles. El mismo día, se obtuvieron muestras de contenido ruminal de cada novillo (\pm 350 mL) para aislamiento de bacterias ruminales por centrifugación diferencial (Bergen et al., 1968).

Preparación de las muestras

Las muestras de duodeno y heces fueron descongeladas, homogenizadas y secadas a 70°C durante 48 h en estufa de aire forzado (EPS, C3F-2, Orange, CA), posteriormente se molieron en molino para café (Krupps Gx4100), se depositaron en platillos de aluminio, y se sometieron a temperatura de 105°C hasta peso constante. Las muestras desecadas se colocaron en frascos de vidrio de 120 mL cerrados herméticamente (Qorpak Jars, Fisher Sci.).

Procedimiento de laboratorio

Las muestras generadas se sujetaron a todos o parte de los siguientes análisis: Materia seca (MS, estufa desecando a 105°C hasta peso constante), ceniza, N kjeldhal y N amoniacal de acuerdo con lo estipulado por la AOAC (1986), almidón (Zinn, 1990), purinas (Zinn y Owens, 1986), FDA (Goering y Van Soest, 1970), óxido crómico (Hill y Anderson, 1958), almidón (Zinn, 1990), MO microbiana (MOM) y N (MN), dejando el abomaso se calcularon usando purinas como marcador microbiano (Zinn y Owens, 1986) y energía bruta (EB) (utilizando una bomba calorimétrica adiabática, Parr Instruments, Co.)

La cantidad de materia orgánica microbiana (**MOM**), así como el nitrógeno microbiano (**NM**) que fluyó a duodeno fue calculada 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) será 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. La producción total de metano será calculada en base al balance de fermentación teórica para la distribución molar de AGV's y MO fermentada en el rumen (Wolin, 1960).

Análisis estadístico

El experimento fue analizado como un diseño completamente al azar con medidas repetidas, bajo el siguiente modelo estadístico mixto:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_k(i) + P_j + \tau P_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = variable de respuesta asociado a un parámetro digestivo

μ= Media general

τ_i = Efecto fijo del i-ésimo tratamiento

α_{k(i)} = Efecto aleatorio asociado con la k-ésima repetición dentro del i-ésimo tratamiento

P_j = Efecto fijo del j-ésimo período o tiempo

τP_{ij} = Interacción tratamiento x tiempo

ε_{ijk} = Error aleatorio asociado con la k-ésima repetición dentro del i-ésimo tratamiento en el tiempo j

donde la media para el i-ésimo tratamiento en el j-ésimo tiempo se estimó como

$$\mu_{ij} = \mu + \tau_i + P_j + \tau P_{ij}$$

Los datos fueron analizados empleando el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS 9.3. La estructura de covarianza que se utilizó para los registros repetidos en el tiempo de k-ésima repetición en el modelo fue seleccionada de entre las estructuras: UN, CS y AR(1). La selección se realizó en base al que produjo valores cercanos a cero para los criterios de información de Akaike y criterio Bayesiano de Schwarz.

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

Composición, % (Base MS)	Dieta	
Maiz hojueado a vapor	71.00	
DDGs	14.50	
Cascarilla de algodón	12.00	
Suplemento mineral ¹	2.50	
Total	100.00	

Composición nutrimental, % (Base MS)²	Análisis dieta	Requerimientos³
EN, Mcal/kg		
Mantenimiento	2.094	2.094
Ganancia	1.424	1.424
Proteína cruda, %	11.233	11.894
FDN, %	23.076	
Calcio, %	0.310	0.553
Fósforo, %	0.486	0.280

¹Minerales traza conteniendo: CoSO₄, 0.068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 0.75%; SO₄, 1.07%; KI, 0.52%; and NaCl, 93.4%.

² Estimada de los valores tabulares de cada ingrediente (NRC, 1996).

³ NRC, Tablas de Requerimientos Nutricionales del Ganado prod de carne 2006.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del experimento se observan en la Tabla 2. La digestión ruminal de la MO incrementó 7.9 % en promedio (52.6 vs 60.7% ; $P < .05$) en respuesta al maíz hojueado a vapor. Resultados similares son reportados por Owens y Zinn (2005). Por su parte Días, (2011), menciona que tiempo medio de retención fue fuertemente correlacionada con el CMS ($r = -0.868$) y la digestibilidad de MO ($r = 0.844$). Los resultados de este estudio indican que los animales alimentados en la ingesta restringida aumentaron la tasa de masticación al comer y rumiar, que junto con un mayor tiempo de retención de la digesta, ha contribuido a mejorar la digestibilidad del alimento. No se observaron efectos del peso de los animales sobre la digestibilidad de MO ($P > .10$).

La digestión ruminal de FDN fue de 46.77, 56.97, 38.18 y 36.13 % ($P < .05$) correspondiente al peso de los animales de 169, 264, 352 y 460 kg. Con lo que podemos observar que existe un incremento de 10.2 % de 169 a 264 kg, pero que disminuye posteriormente hasta un 36.13% lo cual muestra una tendencia a disminuir conforme los animales aumentan de peso (figura 1).

Así mismo, el procesamiento en hojueado mejoró la digestión ruminal del almidón un 14.5% ($P < .01$). Resultados similares fueron reportados por Hunck et al. (1998) y Owens y Zinn (2005), para maíz quebrado y maíz hojueado con una digestión ruminal del almidón promedio 77.0 y 86.3%, respectivamente. El procesamiento del maíz cambia el lugar de digestión del almidón desde el intestino delgado al rumen, pero a su vez incrementaron la digestibilidad del almidón que arriba al mismo (Rowe et al. 1999). La cantidad de almidón digerido en el intestino delgado es múltiplo de flujo y digestibilidad del almidón, expresado como fracción del almidón de la dieta, más el almidón que fue digerido en el

intestino delgado en maíz procesado (Owens y Soderlund, 2006), independientemente del peso del animal.

No se observaron efectos de los tratamientos y el peso de los animales sobre la sobre el N del alimento y eficiencia del N microbial ($P > .10$). La eficiencia ruminal de N aumentó 12.28% ($P < .05$) en respuesta al maíz en hojuela. Al mismo tiempo, se observó un efecto altamente significativo para el peso de los animales con 1.0162, 1.1114, 1.0834 y 1.1883 % ($P < .01$) correspondiente a peso de los animales de 170, 270, 370 y 470 kg, se observa una tendencia donde a mayor peso de los animales la eficiencia del N ruminal tiende a mejorar.

En cuanto a flujo a duodeno, se observó efecto del procesamiento sobre el contenido de MO, el cual incrementó 7.96%, ($P < .05$) en respuesta al maíz en hojuela. No se observó efecto del peso de los animales sobre el contenido de MO ($P > .10$).

Se observó un incremento de 42.73% ($P < .01$) de la digestión postruminal de N, teniendo un efecto de incremento del maíz en hojuela; no se encontraron efectos sobre el peso de los animales, lo cual concuerda con Owens y Zinn (2005), quienes mencionan que el maíz hojueleado a vapor aumenta la cantidad de proteína microbiana que llega al intestino.

La digestión postruminal de la MO no fue afectada por los tratamientos del grano de maíz ni el peso de los animales. Se encontró en efecto significativo de la digestión postruminal de FDN ($P < .05$) en respuesta al maíz en hojuela. Al mismo tiempo, se observó un efecto significativo para el peso de los animales. La

digestión postruminal del almidón aumento un 42.73% ($P < .01$) en respuesta al procesamiento de grano. Los porcentos de digestibilidad encontrados son de 52.6 y 95.34 % correspondientes a maíz quebrado y hojueado a vapor, valores similares a los reportados por Owens y Soderlun en 2006 de 58 y 92 %, debido a la reducida perdida como metano y calor, el aporte de energía disponible para rumiantes es mayor cuando el almidón es digerido en intestino delgado que cuando lo hace en rumen o intestino grueso (Hutington, 2006). No se encontró efecto del peso del animal sobre la digestión postruminal del almidón. Si la digestión del almidón en intestino delgado es menor a 70% no habrá beneficio energético del incremento de la salida de almidón del rumen (Owens et al. 1997).

La digestión postruminal del N de la dieta aumento 17% ($P < .01$) en respuesta al maíz en hojuela. Al mismo tiempo, se observó un efecto significativo para el peso de los animales con 69.94, 76.10, 78.77 y 86.21 % ($P < .05$) correspondiente a peso de los animales de 169, 264, 352 y 460 kg, se observa una tendencia lineal positiva es decir a mayor peso de los animales mayor la digestión postruminal del N de la dieta.

Tanto el peso como el tipo de procesamiento no afectaron la cantidad de almidón del alimento presente en duodeno, resultados similares reportados por Owens y Zinn (2005). Siempre que la digestión ruminal del almidón incrementa, el aporte de almidón postruminal decrece (Zinn y Owens 2008).

En contraste con Gorocica y Loerch (2005), quienes no encontraron interacción ($P > 0.10$) entre el peso del animales de 477 kg y 254 kg y procesamiento de grano, en este estudio se encontró una interacción significativa

($P < .01$) entre el tipo de procesamiento y el peso de los animales en la digestión total de MS, los animales de 170 kg disminuyen la digestibilidad un 8.21% kg, manteniendo una digestión similar entre los animales de 270 y 370 kg para el T1 (maíz quebrado). Para los animales alimentados con T2 (maíz en hojuela) los animales de 170 kg tienen un 75.8%, los animales de 270 kg tienen un 78.75%, finalizando con una digestión similar entre los animales de 470 kg de 79.5% de digestibilidad de la MS. Se observó un aumento de 3.7% entre los animales livianos y los animales pesados.

En cuanto a la digestión total de MO, se observó efecto del procesamiento de maíz sobre el contenido de MO, el cual incrementó (9.64%; $P < .01$) en respuesta al maíz hojueleado a vapor. No se encontró efecto de la digestión total de MO por el peso de los animales ($P > .10$), concordando con resultados de Rianey et al. (2003). Contrario Rainey et al. (2006), observaron una mejor digestibilidad total de MO (52.8 contra 43.3%) y N (39.2 contra 27.2%, $P < 0.01$) mejor para novillos comparado con vacas.

No se encontró efecto de la digestibilidad total de FDN para el tipo de procesamiento de maíz, ni para el aumento de peso de los animales ($P > .10$).

La digestión total del almidón se vio afectada por el hojueleado, presentando un 12.84% ($P < .01$) de aumento. Acorde a esto Corrigan (2009), comparó diferentes tipos de procesado, reportando un efecto significativo ($P < 0.01$) sobre la digestibilidad en tracto total del almidón, siendo mayor para novillos alimentados con maíz hojueleado a vapor. Resultados similares fueron encontrados por Gayean et al. (1976) y Cooper et al. (2002b). El maíz en hojuela aumenta la digestibilidad del almidón a nivel ruminal, postruminal, y del tracto

digestivo total (Owens y Zinn, 2005) por su parte Firkins et al., 2001 mencionan que los beneficios en la digestión del almidón del molido son considerablemente menores que los obtenidos con el procesamiento con calor. Sorprendentemente no se encontró efecto del peso de los animales sobre la digestión total del almidón, resultado similar fue reportado por Gorocica et al. (2005) quienes no encontraron diferencia en la digestión total del almidón con animales destetados y de un año. La diferencia en la edad del ganado puede no haber sido lo suficientemente grande para permitir la expresión de diferencias sobre la capacidad de mascar (Bae et al, 1983). Si consideramos la cantidad de almidón digerida en el rumen y del intestino delgado del almidón contra la cantidad digerida en tracto total, para cada uno de los pesos y tipo de procesamiento, nos podemos dar cuenta que el almidón del rumen mas el intestino delgado parecen similares al del tracto total, esto indica que la digestibilidad de almidón en intestino grueso asociado con diferente tipos de procesamiento y el peso de los animales es cuantitativamente menor comparado con la cantidad de almidón total digerido.

Por último la digestión total de N se vio afectado por un aumento de 6.23% ($P < .01$) por el procesamiento del grano (hojueado a vapor), no presentando efecto significativo para los diferentes pesos de los animales.

La falta de una respuesta de maíz quebrado sobre el rendimiento para alimentación de ganado por más días puede haber sido debido al largo tiempo y efectos acumulativos y la fermentación más rápida del almidón (Huntington, 1997; Beauchemin et al, 2003). La acidosis subaguda (Fulton et al., 1979a, b) y disminución de la integridad del tejido epitelial ruminal (Bartle y Preston, 1992) puede haber contribuido a la respuesta observada.

La capacidad de los rumiantes para adaptar el comportamiento de masticar en condiciones adversas, tales como el consumo de alimento restringido, y sus consecuencias sobre la utilización de los alimentos siguen siendo poco entendido Sauvant et al. (1996). La utilización de los alimentos en el tracto gastrointestinal puede ser afectada por los cambios en la masticación, esta conducta es inducida en respuesta a las cantidades de nutrientes ingeridas (Seo et al., 2007; Kebreab et al., 2009).

La capacidad del masticado es muy importante para la digestibilidad del almidón ya que la fermentación ruminal no inicia hasta que la cutícula del grano de maíz es destruida (Kotarski et al., 1992).

Tabla 2. Influencia del peso del animal y tipo de procesamiento del maíz sobre características de digestión en rumen y tracto total.

Variable	Peso corporal, KG								
	170		270		370		470		
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	
Consumo, g/d¹									
MS	3478.2	3362.3	5105.7	5049.9	7445.8	7524.8	9033.1	8741.7	**a**b **c
MO	3232.16	3127.5	4792.37	4773.1	6955.41	6927.44	8476.31	8212.05	**abc
FDN	597.29	480.41	843.93	853.92	1208.61	1090.1	1362.33	1293.53	
Almidón	1547.46	1577.81	2476.1	2429.05	3327.41	3555.23	4319.2	4443.42	
N	71.108	69.344	102.024	97.176	159.978	153.845	180.933	162.982	**abc
Digestión ruminal, %									
MO	55.74	58.42	55.93	62.91	51.33	57.96	47.42	62.97	*b
FDN	58.77	34.66	64.63	49.31	45.60	30.75	43.99	28.26	*a
Almidón	75.19	80.83	76.95	88.92	70.87	84.70	64.39	90.91	**b
N dieta	42.03	40.11	43.23	37.10	41.15	33.32	38.48	38.65	NS
Eficiencia del N microbial	15.72	17.32	16.73	19.13	18.62	19.28	23.42	20.29	**a
Eficiencia del N	0.97	1.05	1.00	1.21	0.99	1.16	1.12	1.24	**a*b
Digestión postruminal% duodeno									
MO	51.64	57.79	46.64	60.23	50.71	65.47	46.58	62.92	*b
FDN	-0.3861	0.00986	-0.41424	-0.00547	-0.0473	0.27264	-0.2080	0.17881	*a*b
Almidón	61.845	95.29	44.093	95.645	56.008	96.895	48.474	93.544	**b
N	65.06	67.41	59.70	71.27	63.04	73.79	62.73	75.85	**b
MO dieta	27.41	29.94	25.07	29.66	29.82	34.79	29.45	31.44	NS
FDN dieta	-0.1259	0.01389	-0.13758	0.01416	-0.00482	0.18485	-0.1159	0.15662	*a*b
N dieta	66.30	73.57	62.68	89.52	66.97	90.56	74.06	98.35	*a**b
Almidón dieta	15.27	18.20	10.04	10.59	16.39	14.82	17.00	8.49	NS
Digestión tracto total %									
MS	72.67	75.80	69.86	78.75	70.50	79.60	64.46	79.49	**b**c
MO	74.39	78.26	71.65	80.63	71.75	81.58	65.90	81.82	**b
FDN	46.17	36.05	50.87	50.72	45.12	49.23	32.39	43.92	NS
Almidón	90.46	99.03	87.00	99.52	87.26	99.52	81.39	99.41	**b
N	64.42	64.44	57.84	64.05	61.82	67.95	56.06	68.64	**b

^a Efecto del peso del animal (periodo)

^b Efecto del tipo de maíz (quebrado vs hojueado)

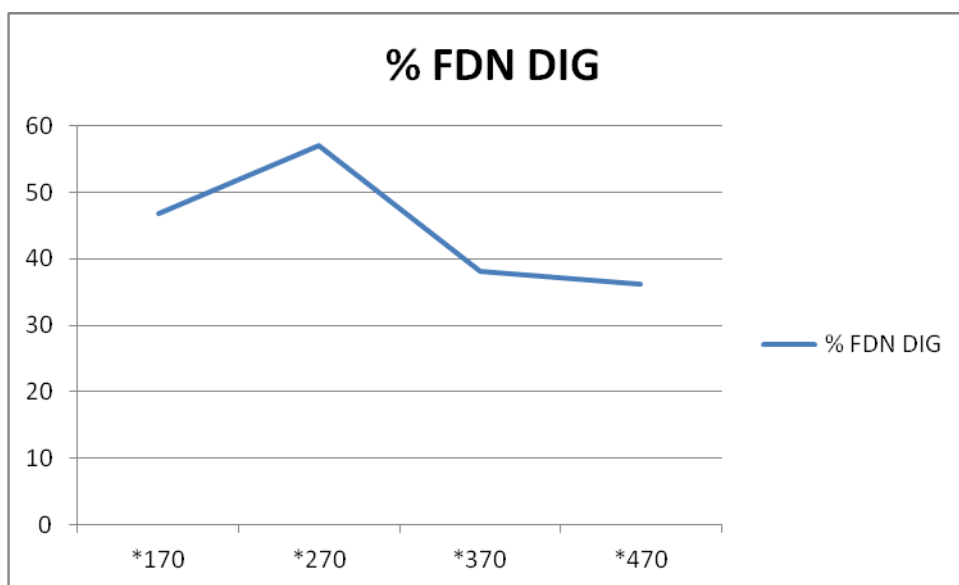
^c Efecto de interacción (peso-tipo de maíz)

Pr < 0.01 ** altamente significativo

Pr > 0.01 y <0.05 * significativo

Pr > 0.05 NS no significativo

Figura 1. Digestibilidad de FDN de novillos a diferentes pesos.



Conclusiones

Se encontró un efecto positivo del procesamiento de granos. El grano en hojuela a vapor mejoró la digestibilidad en el rumen de MO, NDF y NDF, destacándose la digestión de almidón en rumen, duodeno y tracto total así como un aumento en la digestión de proteína que llega a duodeno. Esto es resultado de la mayor digestibilidad de la proteína del grano y un significativo incremento en la disponibilidad de energía para la síntesis microbiana causada por el procesamiento del grano. Por su parte, el peso vivo de los animales afectó la digestión ruminal de FDN, la eficiencia ruminal de N, NDF y NDF de la dieta postruminal, pero sorprendentemente no se encontró efecto sobre la digestibilidad del almidón. Esto puede ser por la diferencia en la eficiencia del masticado conforme el animal crece para el maíz quebrado no fue la suficiente para encontrar un efecto, o los efectos digestivos causados por dietas altas en granos y el cambio en los patrones de masticación debido a la alimentación restringida alteraron el patrón natural de los animales. En base a los datos observados, nosotros concluimos que mientras el maíz hojueleado a vapor puede proporcionar beneficios adicionales para la digestión del almidón en duodeno y tracto total, mientras que el peso vivo no afecta la digestibilidad total de los principales componentes de la dieta.

LITERATURA CITADA

- Allison, C. D. 1985. Factors affecting forage intake by range ruminants: A review. *J. Range Manage.* 38:305-311.
- AOAC. 1986. Official methods of analysis. 14th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Arlington, VA.
- Bartle, S.J. and R.L. Preston. 1992. Roughage level and limited maximum intake regimens for feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 70:3293-3302.
- Beauchemin, K. A., T. A. McAllister, Y. Dong, B. I. Farr, and K. J. Cheng. 1994. Effects of mastication on digestion of whole cereal grains by cattle. *J. Anim. Sci.* 72:236-246.
- Beauchemin, K.A., W.Z.Yang, D.P. Morgavi, G.R.Ghorbani, W. Kautz, and J.A.Z. Leedle. 2003. Effects of bacterial direct-fed microbials and yeast on site and extent of digestion, blood chemistry, and subclinical ruminal acidosis in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81:1628-1640.
- Bergen, W. G., D. B. Purser and J.H. Cline. 1968. Effect of ration on the nutritive quality of rumen microbial protein. *J. Anim. Sci.* 27:1497- 1501.
- Brethour, J. R. 1990. Relationship of ultrasound speckle to marbling score in cattle. *J. Anim. Sci.* 68:2603-2613.
- Brethour, J.R. 1980. Nutritional value of milo for cattle. Report of Progress 384, Roundup 67, pp. 5-8. Fort Hays Branch, Kansas State University.

- Britton, R. A., y Stock, R. A. 1986. Acidosis, rate of starch digestion and intake. In: Symposium Proceedings: Feed Intake by Beef Cattle. F. N. Owens, Ed. Okla. Agric. Exp. Stn. MP-121. Pg. 25.
- Bucholtz, H., H. Ritchie, D. Rozeboom, and S. Rust. 1992. Storage and feeding of high moisture corn with excessive moisture levels. Michigan State University. A.S. Mimeo 268. File No. 19.242.
- Clauss, M., I. D. Hume, and J. Hummel. 2010. Evolutionary adaptations of ruminants and their potential relevance for modern production systems. *Animal* 4:979-992.
- Cole, N. A., R. R. Johnson and F. N. Owens. 1976. Influence of roughage level on the site and extent of digestion of whole shelled corn by beef steers. *J. Anim. Sci.* 43:483-489.
- Coleman, S. W., S. P. Hart, and T. Sahlu. 2003. Relationship among forage chemistry, rumination and retention time with intake and digestibility of hay by goats. *Small Rumin. Res.* 50:129-140.
- Conrad, H.R., A.D. Pratt and J.W. Hibbs. 1964. Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *J. Dairy Sci.* 47:54-62.
- Cooper, R. J., C. T. Milton, T. J. Klopfenstein, T. L. Scott, C. B. Wilson, and R. A. Mass. 2002b. Effect of corn processing on starch digestion and bacterial crude protein flow in finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 80:797-804.

Corona L., S. Rodriguez, R. A. Ware, and R. A. Zinn. 2005. Comparative effect of whole, ground, dry-rolled and steam-flaked corn on digestion and growth performance in feedlot cattle. *Prof. Anim. Sci.* 21:200-206.

Corona, L., F. N. Owens, and R. A. Zinn. 2006. Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84:3020-3031.

Dias R.S. H. O. Pantino, S. López, E. Praes, K. C. Swanson and J. France. 2011. Relationships between chewing behavior, digestibility, and digesta passage kinetics in steers fed oat hay at restricted and libitum intakes. *J. Anim. Sci.* 89:1873-1880.

Firkins, J. L., M. L. Eastridge, N. R. St-Pierre, and S. M. Nofstger. 2001. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 79:E218-238.

Fulton, W. R., T. J. Klopfenstein, and R. A. Britton. 1979b. Adaptation to high concentrate diets by beef cattle. II. Effect of ruminal pH alteration on rumen fermentation and voluntary intake of wheat diets. *J. Anim. Sci.* 49:785-789.

Fulton, W.R., T.J. Klopfenstein and R.A. Britton. 1979a. Adaptation to high concentrate diets by beef cattle. I. Adaptation to corn and wheat diets. *J. Anim. Sci.* 49:775-784.

Galyean, M. L., D. G. Wagner, and R. R. Johnson. 1976. Site and extent of starch digestion in steers fed processed corn rations. *J. Anim. Sci.* 43:1088-1094.

- Galyean, M.L., D.G. Wagner and F.N. Owens. 1979. Corn particle size and site and extent of digestion by steers. *J. Anim. Sci.* 49:204-210.
- Goering, H. K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). USDA Agricultural Handbook No. 379
- Gorocica-Buenfil, M. A., and S. C. Loerch. 2005. Effect of cattle age, forage level, and corn processing on diet digestibility and feedlot performance. *J. Anim. Sci.* 83:705-714.
- Hendricksen, R. E., D. P. Poppi, and D. J. Minson. 1981. The voluntary intake, digestibility and retention time by cattle and sheep of stem and leaf fractions of a tropical legume (*Lablab purpureus*). *Aust. J. Agric. Res.* 32:389-398.
- Hill, F. N. and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587-603.
- Huck, G. L., K. K. Kreikemeier, G. L. Kuhl, T. P. Eck, and K. K. Bolsen. 1998. Effects of feeding combinations of steam-flaked grain sorghum and steam-flaked, high-moisture, or dry-rolled corn on growth performance and carcass characteristics in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 76:2984-2990.
- Huntington, G. B., D. L. Harmon, and C. J. Richards. 2006. Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *J. Anim. Sci.* 84:E14-E24.

- Huntington, G.B. 1997. Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75:852-867
- Kebreab, E., J. Dijkstra, A. Bannink, and J. France. 2009. Recent advances in modelling nutrient utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 87(E-Suppl.):E111-E122.
- Kimberly, C. J. 1976. Effect of age of cattle on digestion of whole wheat or oats fed with clover hay. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 16:795-799.
- Kotarski, S. F., R. D. Waniska, and K. K. Thurn. 1992. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *J. Nutr.* 122:178–190.
- Lechner-Doll, M., M. Kaske, and W. von Engelhardt. 1990. Factors affecting the mean retention time of particles in the forestomach of ruminants and camelids. Pages 455-482 in *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*. T. Tsuda, Y. Sasaki, and R. Kawashima, ed. Academic Press, London, UK.
- Loerch S. C. and M. A. Gorocica-Buenfil. 2008. Advantages and disadvantages of feeding whole shelled corn. *Proceedings Oklahoma State Univ. Grain Processing Symposium*. Tulsa, OK. F. N. Owens Ed. Oklahoma State University Division of Agriculture Misc. Publication 177:73-80.
- Loerch, S.C. and F.L. Fluharty. 1998. Effects of corn processing, dietary roughage level, and timing of roughage inclusion on performance of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 76:681- 685.

- Mader, T. and G. Erickson. 2006. Feeding High Moisture Corn. Univ. of Nebraska-Lincoln. IANR NebGuide G100.
- Malcolm, K. J., and H. E. Kiesling. 1991. Effects of high-concentrate diets on performance, ruminal fermentation and fluid digesta kinetics in steer calves. N.M. Agric. Exp. Stn. Rep. Prog. 1588: 1-5.
- Morgan C. A. and R. C. Campling. 1978. Digestibility of whole barley and oat grains by cattle of different ages. *Animal Production*, 27, pp 323-329. doi:10.1017/S0003356100036217.
- Murphy, T. A., F. L. Fluharty and S. C. Loerch. 1994. The influence of intake level and corn processing on digestibility and ruminal metabolism in steers fed all-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 72:1608-1615.
- Ørskov, E. R. 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1624-1633.
- Ørskov, E.R., C. Fraser and J.G. Gordon. 1974. Effect of Processing of cereals on rumen fermentation, digestibility, rumination time and firmness of subcutaneous fat. *Brit. J. Nutr.* 32:59-69.
- Owens, F. and S. Soderlund. 2006. Methods for measuring moisture content of grains and implications for research and industry. Pioneer Hi-Bred, A DuPont Business.

- Owens, F. N., and R. A. Zinn. 2005. Corn grain for cattle: Influence of processing on site and extent of digestion. Page 86 in Proc. 19th Southwest Nutr. Conf., Phoenix, AZ. Accessed Jan. 15, 2010. http://calscf.calsnet.arizona.edu/animsci/ansci/swnmc/papers/2005/Owens_SWNMC%20Proceedings%202005.pdf
- Owens, F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill, and D. R. Gill. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *J. Anim. Sci.*, 75:868-879.
- Owens, F.N., R.A. Zinn and Y.K. Kim. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J. Anim. Sci.* 63:1634-1648.
- Phillippeau, C., F. Le Deschault de Monredon and B. Michalet-Doreau. 1999. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. *J. Anim. Sci.* 77:238-243.
- Poppi, D. P., D. J. Minson, and J. H. Ternouth. 1981. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. I. Factors controlling the retention of feed in the reticulo-rumen. *Aust. J. Agric. Res.* 32:109-121.
- Pordomingo, , A. J., Jonas, , O., Adra, , M., N., A., Juan, Azcárate, , M. P.. Evaluación de dietas basadas en grano entero, sin fibra larga, para engorde de bovinos a corral RIA. *Revista de Investigaciones Agropecuarias [en línea]* 2002,

31 (abril) : [fecha de consulta: 29 de mayo de 2013] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86431101>> ISSN 0325-8718

Pritchard, R. H. and D. A. Stateler. 1997. Grain processing: Effects on mixing, prehension, and other characteristics of feeds. *J. Anim. Sci.* 75:880-884.

Rainey, B. M., J. A. Paterson, M. C. King, L. W. Barney, and W. T. Choat. 2006. Effect of age sex and grain processing method on rate and efficiency of gain and diet digestibility of beef cattle. *Proc. West Sect. Amer. Soc. Anim. Sci.* 54.

Rainey, B. M., J. A. Paterson, R. J. Lipsey, R. N. Funston, G. W. Brester, and W. T. Choat. 2006. Effect of age and grain processing method on diet digestibility of beef cattle. *Proc. West Sect. Amer. Soc. Anim. Sci.* 53:585–588.

Rainey, B. M., J.A. Paterson, M. C. King, L. W. Barney, W. T. Choat. 2003. Effect of age and grain processing method on rate and efficiency of gain and diet digestibility of beef cattle. *American Society of Animal Science.* Vol. 54.

Rowe, J. B., M. Choct, and D. W. Pethick. 1999. Processing cereal grains for animal feeding. *Aust. J. Agric. Res.*50:721-736.

Sauvant, D., R. Baumont, and P. Faverdin. 1996. Development of a mechanistic model of intake and chewing activities of sheep. *J. Anim. Sci.* 74:2785-2802.

- Seo, S., C. Lanzas, L. O. Tedeschi, and D. G. Fox. 2007. Development of a mechanistic model to represent the dynamics of liquid flow out of the rumen and to predict the rate of passage of liquid in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 90:840-855.
- Shaver, R. D., and D. Majee. 2002. Relationship between corn vitreousness and starch digestion. *Cornell Nutr.Conf.* 153-158.
- Shaw, R. S., and H. W. Norton, Jr. 1906. Feeding whole grain. *Michigan Agric. Exp. Sta. Bull.* 247:8.
- Stock, R. A., Klopfenstein, T. y Shain, D. 1995. Feed intake variation. *Okla. Agric. Exp. Sta. Misc. Publ. P-942:56-59*
- Stritzler, N.P. y Gingings, M.A. 1983. Efficacy of animal size upon the grain mastication. *Produccion animal (Buenos Aires, Argentina)* 10:115-119
- Theurer, C. B., O. Lozano, A. Alio, A. Delgado-Elorduy, M. Sadik, J. T. Huber, and R. A. Zinn. 1999b. Steam-processed corn and sorghum grain flaked at different densities alter ruminal, small intestinal, and total tract digestibility of starch by steers. *J. Anim.Sci.* 77:2824–2831.
- Turgeon, O.A., Jr., D.R. Brink and R.A. Britton. 1983. Corn particle size mixtures, roughage level and starch utilization in finishing steer diets. *J. Anim. Sci.* 57:739-749.

Utley, P. R., and W. C. McCormick. 1975. Dry or high-moisture corn for finishing steers in drylot or on oat pasture. *J. Anim. Sci.* 41:495-499.

Ward, C. F., and M. L. Galyean. 1999. The relationship between retrograde starch as measured by starch availability estimates and in vitro dry matter disappearance of steam-flaked corn. Burnett Center Internet Progress Report No. 2. Texas Tech. University.

Wolin, M. J. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. *J. Dairy Sci.* 43:1452.

Wylie, M. J., T. W. White, W. C. Ellis, and J. H. Matis. 1990. The flow of undigested corn residues through the gastrointestinal tract of cattle. *J. Anim. Sci.* 68:3843-3852.

Zinn, R. A. 1990a. Influence of steaming time on site of digestion of flaked corn in steers. *J. Anim. Sci.* 68:776.

Zinn, R. A. and F. N. Owens. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal synthesis. *Can. J. Sci.* 66:157.

Zinn, R. A., A. Barreras, L. Corona, F. N. Owens, and R. A. Ware. 2007. Starch digestion by feedlot cattle: Predictions from analysis of feed and fecal starch and nitrogen. *J. Anim. Sci.* 85:1727-1730.

Zinn, R. A., and F. N. Owens. 2008. Comparative effects of processing methods of the feeding value of corn. Pages 144–156 in Proc. 23rd Southwest Nutr. & Management Conf. Arizona. University of Arizona, Tempe.

Zinn, R. A., Owens, F. N., Ware, R. A. 2002. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 80: 1145-1156.

INFLUENCE OF TIME BETWEEN RUMINAL GLUCOSE CHALLENGES ON RUMEN FUNCTION

INFLUENCIA DEL LAPSO ENTRE DESAFIOS RUMINALES CON GLUCOSA EN LA FUNCIÓN RUMINAL

Juan O. Chirino-Romero¹, Martín F. Montaña-Gómez*¹, Jesús A. Valdéz-Albarrán¹, José F. Calderón y Cortés¹, Víctor M. González-Vizcarra¹, Olga M. Manríquez-Nuñez¹ Jorge A. Bonilla-Cárdenas², and Richard A. Zinn³

¹Estudiante de Posgrado UABC. Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, México, E-mail: octaviochirino@hotmail.com

¹Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, México, E-mail: martinmg@uabc.edu.mx

¹Estudiante de Posgrado UABC. Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, México, E-Mail: jesus.a.valdez@hotmail.com

¹Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, México, E-mail: jose.fernando.caldero.cortes@uabc.edu.mx

¹Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, México, E-mail: vvizcarra@uabc.edu.mx

¹Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, México, E-mail: omaritza@uabc.edu.mx

²INIFAP-Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nayarit, México, E-mail: Bonilla.jorge@inifap.gob.mx

³Department of Animal Science, University of California, Davis 95616, USA, E-Mail: razinn@ucdavis.edu

*Corresponding Author

SUMMARY

A metabolism trial was conducted to evaluate the effects of two consecutive glucose challenges on rumen function in steers fed a high-energy finishing diet. Four Holstein steers (320 kg LW) with cannula in the rumen were used in a 4 x 4 Latin square design. Four treatments were used and consisted of the time elapsed between both challenges of glucose (2, 4, 6 or 8 d). Ruminal fluid samples were taken at 0700 h (just prior the first glucose challenge), and from the second challenge (d 2, 4, 6, or 8) at 1 h before and 2, 4, 6, 8, 28, 52, 124, 196 and 268 h. As the time between fluctuation of energy intake increased, ruminal fluid pH ($P < 0.05$) and ruminal L-lactic acid increased linearly ($P < 0.10$) after the first challenge. However, ruminal pH and L-lactic acid were not related ($P > 0.10$). During the first 6 h following the second glucose challenge ruminal fluid pH decreased. No effects of treatments on ruminal pH were observed ($P > 0.10$) among treatments from 3 days after the second challenge. Ruminal fluid osmotic pressure increased ($P < 0.10$) after dosed glucose

with all treatments. Ruminal osmolality increased ($P < 0.10$) as the time between challenges were 2 or 4 days. After dosed glucose, total volatile fatty acids increased, except by treatment 1 after second challenge. Total volatile fatty acid and pH were related positively ($R^2 = 0.69$). As the time increased, a tendency on increment of concentrations of protozoa was observed. Ruminal glucose concentration decreased linearly ($P < 0.10$) 2 h after the second fluctuation of energy intake. We concluded that fluctuations in feed intake may affect ruminal function, observing higher alterations as the time between challenges decrease.

Key words: Cattle, acidosis, glucose, lactate.

RESUMEN

Se condujo un ensayo de metabolismo para evaluar los efectos de dos desafíos consecutivos con glucosa (500 g) en la función ruminal de novillos alimentados con una dieta de finalización alta en energía. Se usaron cuatro novillos Holstein (320 kg PV) con cánula ruminal, en un diseño de cuadrado latino 4 x 4. Se evaluaron cuatro tratamientos que consistieron en el tiempo transcurrido entre los desafíos con glucosa (2, 4, 6 u 8 d). La dieta basal contenía 72% de trigo hojueado al vapor, 3% de grasa amarilla y 8% de forraje. Los desafíos de glucosa se introdujeron al rumen vía la cánula ruminal simultáneamente a la oferta de la ración matutina. Se colectaron muestras ruminales a las 0700 h (justo antes del primer desafío con glucosa), y del segundo desafío (d 2, 4, 6, u 8) a 1 h antes y a 2, 4, 6, 8, 28, 52, 124, 196 y 268 h. A medida que el tiempo entre la fluctuación en el consumo de energía se incrementó, el pH del fluido ruminal ($P < 0.05$) y el ácido L-láctico se incrementaron linealmente ($P < 0.10$) después del primer desafío. Sin embargo, no se observó relación ($P > 0.10$) entre el pH y el ácido L-láctico. Durante las primeras 6 h siguientes al segundo desafío con glucosa el pH ruminal disminuyó. No se observó ($P > 0.10$) efecto de los tratamientos en el pH ruminal a partir del tercer día después del segundo desafío. La presión osmótica del fluido ruminal se incrementó ($P < 0.10$) después de la dosis de glucosa con todos los tratamientos. La osmolaridad ruminal se incrementó ($P < 0.10$) a medida que el tiempo entre desafíos fue de 2 a 4 d. Después de dosificar la glucosa, los ácidos grasos volátiles totales se incrementaron, excepto en el tratamiento 1, posterior al segundo desafío. Los ácidos grasos volátiles totales y el pH se relacionaron positivamente ($R^2 = 0.69$). A medida que el lapso entre desafíos se incrementó, se observó tendencia al incremento de la concentración de protozoarios. La concentración ruminal de glucosa disminuyó linealmente ($P < 0.10$) 2 h después de la segunda fluctuación en el consumo de energía. Se concluye que las fluctuaciones en el consumo de alimento pueden afectar la función ruminal, observándose mayores alteraciones a medida que disminuye el tiempo entre desafíos.

Palabras clave: Ganado, acidosis, glucosa, lactato.

INTRODUCTION

When a high amount of free glucose is accumulated in the rumen of animals fed a high-starch ration, ruminal lactic acidosis may be present (Allison, 1976). This nutritional alteration is considered the most important metabolic problem in feedlot (Irwin *et al.*, 1979). Vogel and Parrot (1994), observed that death due to digestive disorders comprised 30% of the total death loss in feedlot cattle. On the same manner, Slyter (1976), observed that the time required for the stabilization of the rumen after a digestive disturbance may be a week or more. The prophylactic methods used in the feedlot industry to prevent lactic acidosis such as restriction of feed intake or slow adaptation have resulted in reduced gain and feed efficiency (Tremere *et al.*, 1968; Muir *et al.*, 1980b). Daily fluctuations in feed intake affect behavior in feedlot presumably by influence on ruminal function (Britton and Stock, 1987; Zinn, 1987). Although fluctuations in feed intake have been observed without effect on the parameters of production in feedlot (Stock *et al.*, 1995; Soto *et al.*, 1998). Fulton *et al.* (1979) and Galyean *et al.* (1992), observed that intake variation decreased animal gain and feed efficiency. Stock *et al.* (1995), reported that the magnitude of intake variance was 5 to 10 times greater with individually fed steers than with steers fed in a commercial feedlot pen. The physiological mechanisms used to adapt when wide variation in intake is present in steers fed a high-energy diet are not clear. Therefore, the objective of this study was to evaluate the influence of two challenges of glucose at different times on rumen function in steers fed a high-concentrate finishing diet.

MATERIALS AND METHODS

Four Holstein steers (320 kg LW) with ruminal cannulas were used in a 4 x 4 Latin square design experiment to evaluate the effect of two consecutive glucose challenges on ruminal characteristics. Steers were housed individually in slotted-floor pens (1.42 x 2.74 m) equipped with automatic drinkers. Ambient temperature in the metabolism unit was maintained between 21 and 26°C. The trial consisted of four 21-d periods. Dry matter intake was restricted to 2.2% of body weight. Diet was fed in equal proportions at 0800 and 2000 h daily. A wheat-based ration was used (Table 1) due to the fact that wheat causes higher ruminal acidity than other grains (Tremere *et al.*, 1968; Slyter, 1976; Owens, 1998). Two single doses of 500 g of glucose mixed in 2 L of water at 40°C were administered via the ruminal cannula at 0800 h. The first dose was administered on day 0 and the second dose at the following days: d2, d4, d6 or d8 (treatment 1, 2, 3 or 4, respectively). Ruminal fluid samples (250 ml approx.) were collected via the ruminal cannula according to the following schedule: d 0: 0700 h (just prior the first glucose challenge) and on day of the second challenge (d 2, 4, 6, or 8) at 0700, 1000, 1200, 1400, and 1600 h. During days 1, 2, 5, 8 and 11 after the second challenge of glucose, a ruminal sample was obtained at 1200 h. Ruminal fluid pH was determined on fresh samples. Ruminal fluid samples were strained through 4 layers of cheesecloth. Freshly prepared 25% (wt/vol) *m*-phosphoric acid (2 mL) was added to 8 mL of strained ruminal fluid. Samples were then centrifuged (17,000 x g for 10 min) and supernatant fluid stored at -20°C for analysis of L (+) lactic acid (Sigma Technical Bulletin 826-UV, 1990),

Glucose (Zinn, 1990) and VFA concentrations (gas chromatography; Zinn, 1991). A separate sample of strained ruminal fluid (100 mL) was used for measuring osmotic pressure (Micro Osmette), and total protozoa (Montaño *et al*, unpublished data). This trial was analyzed as a 4 x 4 Latin square (Hicks, 1973).

Table 1. Composition of experimental diet (% DM basis)

Item	%
Alfalfa hay	4.00
Sudangrass hay	4.15
Steam-flaked wheat	72.50
Yellow grease	3.00
Cane molasses	8.95
Cottonseeds meal	5.05
Urea	0.50
Limestone	1.40
Trace mineral salt ^a	0.45
Nutrient composition (DM basis)	
NE, Mcal/kg	
Maintenance	2.24
Gain	1.56
Crude protein, %	12.50
Lipid, %	6.40
Calcium, %	0.68
Phosphorus, %	0.34

^aTrace mineral salt contained: CoSO₄, .068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%, ZnO, 1.24; MnSO₄, 1.07%; KCl, .052%; and NaCl, 92.96%.

RESULTS AND DISCUSSION

Treatment effects on ruminal glucose level are shown in Table 2. The time at giving glucose challenges caused very little change in ruminal glucose concentration. This is consistent with the results of Zinn (1994), who did not observe effect of 20% of variation in daily feed intake in feedlot, on ruminal starch digestion. Ljøkjel *et al.* (2003), added glucose to barley or peas based diets, and founded no consistent effects of glucose on ruminal degradation of starch, because differences in protein matrix surrounding starch. As was expected, ruminal glucose increased at 2 h after the glucose challenge and returned close or under the prefeeding levels at 2 h after fed. Low levels of glucose (from 1.83 to 12.59 mg/dL) were observed during the rest of sampling times. Counotte *et al.* (1983), reported that concentrations of soluble sugars in the rumen fluid became maximal at 30 min postfeeding, but at 90 min no sugars were detectable in cows adapted to a diet of hay *ad libitum* plus 12 kg of concentrate. Furthermore, our results are in close agreement with others (Hart, 1985) who observed ruminal fluid glucose content ranged from 28 to 63 mg/dL. The contrasting results of the studies by Slyter (1976), and the present trial may be associated with differences in ruminal pH. Meissner and Du Preez (1996), compared several protein and energy concentrations in feedlot diets and concluded that several combinations of dietary protein, rumen degradable protein and starch will result in similar quantities of aminoacids and glucose in the small intestine. At blood level, Owens *et al.*, (2008), did not find effect of either sucrose or concentrate supplementation on the mean glucose or plasma urea levels. Concentrate

supplementation increased ($P < 0.001$) plasma β -hydroxybutyrate levels, while fortification with sucrose had no effect.

The ruminal glucose concentration 2 h after the glucose challenge indicates that the metabolism of free glucose by ruminal microorganisms may be much slower than has been suggested (91 to 99%, Ghedalia and Salomon (1987); Ghedalia *et al.* (1989) or 500%/h, NRC, 1996). Assuming that ruminal volume is 40 L, ruminal glucose passage rate is 5%/h, and that the change in ruminal glucose concentration during the second hour following the glucose challenge (37 mg/dL) represents residual from the glucose challenge, we assume that ruminal degradation of glucose is not instantaneous.

Table 2. Influence of treatments on ruminal Glucose (mg/dL).
Days between glucose challenges

	1	2	3	4	SEM
1h before first challenge	44.00	34.08	33.47	29.82	6.4
1h before second challenge	32.29	45.12	40.35	34.88	9.7
2h	81.04	46.98	66.88	60.14	13.4
4h ^a	45.96	22.18	42.70	38.12	9.5
6h ^b	34.33	32.66	39.59	26.32	12.3
8h ^a	45.98	32.46	42.25	38.56	6.8
28h	43.50	46.57	51.36	40.42	3.8
52h ^a	43.44	50.13	41.60	49.43	3.1
124h	44.90	47.65	38.95	45.47	4.4
196h	37.83	46.57	43.71	46.01	8.2
268h ^c	34.34	47.31	45.59	41.72	7.4

^aCubic effect, ($P < .05$)

^bCubic effect, ($P < .10$)

^cLineal effect, ($P < .05$)

Effects of fluctuating energy intake on ruminal L-lactic acid level are shown in Table 3. According with the increment of time between both glucose challenges, lineal increments ($P < 0.10$) of the level of L-lactic acid were observed before and after the first challenge. Similar linear relationship was present on day of the second dose of glucose at 6 and 8 h. Consistent with results of previous studies (Mackie and Gilchrist, 1981), ruminal L-lactic acid peaked at 2 h after glucose challenge. The increased levels of L-lactic acid at 2 h after second challenge occurred when time between challenges decreased from 8 to 2 days. L-lactic acid levels returned to prefeeding values at 6 h later. Others workers (Telle and Preston, 1971; Kezar and Church, 1979; Nagaraja *et al.* 1981) observed higher levels of ruminal L-lactic acid, but critical drops in rumen pH were present. Though low pH values were observed in rumen at the time that increased L-lactic acid were present (Tables 3 and 4), the relation of pH and L-lactic acid was not strong ($R^2 = .20$).

Table 3. Influence of treatments on ruminal L-lactic acid (mg/dL).

	Days between glucose challenges				SEM
	1	2	3	4	
1h before first challenge	9.38	10.64	15.13	16.56	2.47
1h before second challenge	14.15	13.75	15.99	19.13	1.91
2h	81.20	88.13	65.66	71.76	8.72
4h	47.76	15.42	25.57	21.50	12.16
6h ^a	13.49	13.38	15.58	20.80	2.48
8h ^a	12.68	14.07	14.88	18.60	2.10
38h	15.09	13.91	16.76	19.25	1.92
52h	17.04	18.67	16.06	23.81	3.55
124h	17.41	18.14	16.96	19.86	2.64
196h	16.10	20.63	16.68	20.39	2.71
268h	14.68	16.17	16.15	19.39	2.11

^aLineal effect, (P <.05).

According to Bond *et al.* (1975), the lack of influence of lactic acid on ruminal pH may be due by the fast diminishing of ruminal glucose to prefeeding values (Table 2). So, under these conditions, lactic acid is not produced and/or accumulated on amounts sufficient to influence the ruminal pH values. Due possibly by rumen microbial adaptation to the high concentrate diet, after the second day of sampling period no statistics differences (P>0.10) were observed among treatments. According with our trial, Huntington and Britton (1979) observed little variations in rumen fluid lactate of lambs after 4 days they had been switched from an all-forage to a high-concentrate diet. Though others (Fulton *et al.*, 1976a) have observed small amounts of lactate in steers fed a high-wheat concentrate diets, the increased values of lactic acid observed with treatment 4 without significant fall of the ruminal pH, may indicate the complete return of the rumen to normal conditions. So, due to the ruminal fluid pH lower than 5.0 increases the growth of lactic acid-producer bacteria in rumen (Suda *et al.*, 1995), the maintenance of ruminal pH over or close 5.0 when fluctuating feed intake is present, should be considered a "critical point" if we wish to maintain the ruminal physiological conditions in a normal range.

The influence of treatments on ruminal pH is shown in table 4. After the first challenge, ruminal pH increased linearly (P <0.05). Differences between both challenges increased with treatment 1 (13%), and decreased with treatment 4 (4%). Ruminal pH at 2 h after the second challenge decreased 8% and 20% with treatment 1 and 4, respectively. Treatment 2 and 3 gave similar answer (13%). Others (Muir *et al.*, 1981; Nagaraja *et al.*, 1981) have reported lower pH values, but after used higher amounts of energy in the challenges. As reported by Muir *et al.* (1981), ruminal pH dropped during the first 6 h after the second glucose challenge. The lower values were observed at 1000 h, for all treatments are considered normal after feed intake or after dosed glucose in rumen. Ruminal pH tended to stabilized at 8 hours *postprandium* approximately, and it remained lower than prefeeding values the rest of the sampling period. There were not significant differences (P >0.10) during

the rest of the sampling times. Others (Huntington and Britton, 1979) have registered critical ruminal pH values (4.48), and/or observed lower ruminal fluid pH values during four days (Kezar and Church, 1979). These effects of fluctuating high-energy feed intake are similar to those observed in dairy cows (Malestein *et al.*, 1984), or in sheep and goat (Mirgani and Bakhit, 1990). According with our results, Irwin *et al.* (1979), observed that after 58 h of the administration of glucose by 11 g kg⁻¹ BW, rumen was unable to recover pH compared vs initial pH level in ewes fed pasture. Practically ruminal fluid pH was not different (P >0.10) among treatments after the second glucose challenge. Similar responses to variable energy intake have been reported by Zinn (1994), who observed not influence of a 20% variation in daily feed intake on ruminal pH in steers fed a high-concentrate diet. Also, no relationship were observed (P >0.10) between pH and ruminal L-lactic acid, osmolality, or glucose concentration.

These results demonstrate that as the time between intake fluctuations increment, a more efficient process of adaptation in the rumen can be observed. The ruminal pH values observed in this trial seem that under the conditions of this trial, six days after a first energy intake disturb the rumen can be able to support a second intake fluctuation.

Table 4. Influence of treatments on ruminal fluid pH
Days between glucose challenges

	1	2	3	4	SEM
1h before first challenge	6.53	6.46	6.52	6.54	0.07
1h before second challenge ^a	5.76	6.12	6.06	6.26	0.11
2h	5.33	5.44	5.38	5.21	0.10
4h	5.45	5.36	5.58	5.57	0.15
6h	5.39	5.55	5.68	5.86	0.16
8h ^a	5.64	5.59	5.85	6.05	0.14
28h ^b	5.56	5.81	5.46	5.71	0.09
52h	5.66	5.53	5.60	5.49	0.06
124h	5.49	5.28	5.55	5.63	0.15
196h	5.57	5.47	5.61	5.63	0.13
268h	5.63	5.52	5.50	5.84	0.10

^aLineal effect, (P <.05)

^bCubic effect, (P <.10).

Treatment effect on ruminal total volatile fatty acids (TVFA) are shown in table 5. After the second dose of glucose, effects of variation of energy intake on TVFA were not observed (P >0.10). This effect was also noted by Zinn (1994), who did not observed (P >0.10) effect of 20% of variation of intake on ruminal VFA molar proportions. Similar information has been reported by Uhart and Carroll (1967) working with steers fed a high-concentrate diet. On the other hand, the lack in the relationship (R² = 0.36) between TVFA and ruminal osmolality may be due by the effect of osmolality on rumen liquid dilution rate (Zhao *et al.*, 1995), or ruminal absorption rate (Lopez *et al.*, 1994). The concentrations of L-lactic acid and TVFA were not related (P >0.10). Wilson *et al.* (1975), attributed the lack in the relationship of TVFA and lactic acid concentrations to a change in fermentation and

dilution rates, or as mentioned by Gaebel *et al.* (1987), by the increment of rumen fluid osmolality. Others workers (Kezar and Church, 1979; Muir *et al.*, 1980a; Muir *et al.*, 1980b; Muir *et al.*, 1981; Nagaraja *et al.*, 1982) have reported a significant relationship, nevertheless the values of ruminal pH were lower and the levels of lactic acid higher than the observed in our experiment, which suggests a possible effect over the microbial population in rumen.

The significant relation observed between TVFA and pH ($R^2 = 0.69$), and the low relation of L-lactic acid and pH ($R^2 = 0.20$), suggest that ruminal TVFA concentration is the principal factor modulating pH when ruminal pH is over or near 5.5. This results are in agreement with Van Campen (1986) who observed relationship between ruminal VFA and pH when ruminal pH was below 6. More recently, Schoonmaker *et al.* (2003), mentioned that declining pH in steers fed a high-grain diet *ad libitum* may have been a consequence of increasing propionate. Declining pH in limit-fed cattle may have been a consequence of increases in a combination of VFA.

Table 5. Influence of treatments on ruminal total volatile fatty acids (mmol/mol).

	Days between glucose challenges				SEM
	1	2	3	4	
1h before first challenge	76.39	81.48	81.14	82.12	4.2
1h before second challenge ^a	109.06	99.40	102.93	90.59	4.8
2h	107.69	123.49	122.71	113.74	1.1
4h	110.74	116.80	125.16	116.55	.01
6h	110.18	107.32	121.21	105.73	1.2
8h	114.31	110.79	108.39	95.08	.08
28h	113.65	125.59	124.36	116.83	1.4
52h	116.63	134.90	119.52	123.59	.08
124h	114.63	135.05	100.70	117.84	1.6
196h	120.90	130.57	114.31	130.12	1.2
268h	113.97	112.46	129.79	117.92	1.3

^aLineal effect, ($P < 0.10$)

Treatment effect on ruminal fluid osmolality are shown in table 6. The higher increment of osmolality was observed with treatment 1 after the first challenge. However, this answer was not constant after the second challenge. Decreased values ($P < 0.10$) of osmolality were observed with treatment 4 on the day of the second challenge. Also, increased osmolality was observed after feeding and glucose administration with all treatments, remaining high during most of the sampling times, except at 8 h after the second challenge. No differences were detected ($P > 0.10$) among treatments after 8 h of the second challenge of glucose. Normal increased values of rumen osmolality are observed commonly post feeding (Garza *et al.*, 1989) due to salt intake and VFA production (Kapoor and Puri, 1994). Although Telle and Preston (1971) observed that the increase of lactate affects ruminal osmotic pressure, we did not observed a strong relation ($R^2 = 0.20$) of ruminal osmolality and lactic acid. The typical symptoms reported by Kezar and Church (1979), which indicate that the ingest had become hypertonic in rumen, (ingest becoming yellowish-green in color and very fluid in consistency), were present only as a slight manner due the ruminal pH was higher than 5 (Table 4).

Table 6. Influence of treatments on ruminal osmolality (mOsmol/kg)

	Days between glucose challenges				SEM
	1	2	3	4	
1h before first challenge	351	349	358	340	26
1h before second challenge	403	378	371	373	15
2h ^a	412	458	411	380	19
4h	390	418	374	394	31
6h	380	373	391	343	31
8h ^a	372	393	372	332	13
38h	382	385	435	387	14
52h	381	424	377	398	39
124h	412	394	340	398	44
196h	386	409	385	442	25
268h	415	362	420	416	19

^aQuadratic effect, (P <.10)

Treatment effect on ruminal total protozoa are shown in table 7. No effects (P >0.10) of treatments were observed during most of the sampling times. The small effect registered on days 7 and 13 of the sampling period may be due to normal changes on protozoa observed in animals fed the same diet (Allison, 1976). Though after first glucose challenge protozoa decreased 107 and 68% with treatment 1 and 2, respectively, and increased 33 and 52% with treatments 3 and 4, after the second dose of glucose, protozoa was unable to increment with any treatment. The data clearly demonstrate that ruminal protozoa population is able to recover after the first variation of intake, but it is unable to tolerate continuous variations of energy intake. As previously reported (Dehority and Males, 1974; Allison, 1976), maximum numbers occurred just prior to feeding, then decrease rather rapidly and remain quite low for the following hours. Consistently with Nikolov (1966), protozoa was related positively ($R^2 = 0.55$) with ruminal pH. Although Slyter *et al.* (1970), reported that total count of ruminal protozoa was practically eliminated during lactic acidosis, our information about the permanency of ruminal protozoa populations under acidotic conditions agrees with others workers (Slyter, 1976; Gabel, 1990; Suda *et al.*, 1994). The most common protozoa sub-specie observed was *Entodinium*, which is normal in animals fed a high-grain ration (Slyter, 1976). The high amount of protozoa observed at 6 and/or 8 days after the second dose of glucose suggests a possible process of adaptation to high-energy intake (Counotte *et al.*, 1983). The occurrence of ruminal protozoa was not directly associated (P>0.10) with rumen fluid osmotic pressure as reported by Dehority and Males (1974).

Table 7. Influence of treatments on ruminal total protozoa ($\text{nx}10^5/\text{ml}$)

	Days between glucose challenges				SEM
	1	2	3	4	
1h before first challenge	16.8	9.6	12.0	8.4	3.1
1h before second challenge	8.1	5.7	16.0	12.7	4.9
2h	4.7	2.6	8.3	9.4	2.8
4h	3.6	1.7	7.6	9.2	2.7
6h	2.9	1.9	7.6	6.2	2.1
8h	4.3	2.0	8.1	6.0	2.0
28h	6.4	2.2	6.2	8.7	2.0
52h	6.5	3.1	7.4	5.2	2.3
124h ^a	5.8	1.6	6.9	2.3	1.9
196h	7.6	4.1	5.6	8.7	2.0
268h ^b	5.2	1.7	6.7	11.3	2.6

^aCubic effect, ($P < .10$)

^bQuadratic effect, ($P < .05$)

Implications

Ruminal alterations are higher as the time between challenges were less. However, the gradual increment of ruminal pH, L-lactic acid, and total protozoa indicated that in average at 7 days after fluctuation in feed intake the conditions in the rumen were stabilizing and it is able to support a second challenge.

REFERENCES

- Allison, M. J. 1976. Population control in the rumen and microbial adaptation to dietary change, in: *Buffers Ruminant Physiology and Metabolism*, p 10-18. Church & Dwight Company, Inc. New York, New York.
- Bond, J., L. L. Slyter and T. S. Rumsey. 1975. Fasting and refeeding of forage and concentrate diets to cattle. *J. Anim. Sci.* 41:392. (Abstr.)
- Britton, R. A. and R. A Stock. 1987. Acidosis, rate of starch digestion and intake. In: F. N. Owens (Ed.) *Symposium Proceedings: Feed Intake by Feedlot Cattle*, Oklahoma Agric. Exp. Sta. MP-121:125.
- Counotte, G. H. M., A. Lankhorst and R. A. Prins. 1983. Role of DL-lactic acid as an intermediate in rumen metabolism of dairy cows. *J. Anim. Sci.* 56:1222-1235.
- Dehority, B. A. and J. R. Males. 1974. Rumen fluid osmolality: Evaluation of its influence upos the occurrence and numbers of holotrich protozoa in sheep. *J. Anim. Sci.* 38:865-870.

- Fulton, W. R., T. J. Klopfenstein, and R. A. Britton. 1976. Adaptation to high concentrate diets by beef cattle. 1 Adaptation to corn and wheat diets. *J. Anim. Sci.* 79:775-784.
- Gaebel, G., M. Suendermann, and H. Martens. 1987. The influence of osmotic pressure, lactic acid and pH on ion fluid absorption from the washed and temporaly isolated reticulo-rumen of sheep. *J. of Vet. Med.* 34:220-226.
- Gabel, G. 1990. Rumen acidosis: interactions between changes in the lumen and the rumen wall. *Ubersichten-zur-Tierernahrung.* 18:11-38.
- Galyean, M. L., K. J. Malcolm-Callis, D. R. Gracia, and G. D. Pulsipher. 1992. Effect of varying the pattern of feed consumption on performance by programmed-fed beef steers. *Clayton Livestock Res. Center . Prog. Rep.* 75:1.
- Garza, J. D., F. N. Owens, and J. E. Breazile. 1989. Effects of diet on ruminal liquid and on blood serum osmolality and hematocrit in feedlot heifers. *Ani. Sci. Res. Rep. Oklahoma State univ.* MP-127, 68-76.
- Ghedalia, B. D., and R. Salomon. 1987. The effect of dietary barley on carbohydrate digestibility of sulphur dioxide-treated wheat straw by sheep. *Anim. Feed Sci. And Technology.* 18:55-66.
- Ghedalia, B. D., E. Yosef, J. Miron and Y. Est. 1989. The effects of starch -and pectin- rich diets on quantitative aspects of digestion in sheep. *Anim. Feed Sci. And Technology.* 24:289-298.
- Hart, S. P. 1985. Associative effects on sorghum silage and sorghum grain. *J. Anim. Sci.* 61:Suppl. 1, 343-344.
- Hicks, C. R. 1973. *Fundamental concepts in the design of experiments.* Holt, Rinegart and Winston, Ney york.
- Huntington, G. B. and R. A. Britton. 1979. Effect of dietary lactic acid on rumen lactate metabolism and blood acid-base status of lambs switched from low to high concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 49:1569-1576.
- Irwin, L. N., G. E. Mitchell, Jr., R. E. Tucker and G. T. Schelling. 1979. Histamine, tyramine, tryptamine and electrolytes during glucose induced lactic acidosis. *J. Anim. Sci.* 48:367-374.
- Iwase, S. Y., Y. Matui, K. Hoshi, and S. Motoyoshi. 1991. Treatment of acute rumen dilation with oral administration of actived charcoal. *Bovine-Practitioner.* 26:146-147.
- Kapoor, P. D. and J. P. Puri. 1994. Rumen fluid osmolality with different feeding regimes in buffalo. *Livestock-Adviser. India.* 19:30-33.
- Kezar, W.W. and D. C. Church, 1979. Effect of thiopeptin and sodium bicarbonate on the prevention of lactic acidosis induced in sheep. *J. Anim. Sci.* 49:1396-1402.
- Lopez, S., F. D. Hovell, and N. A. MacLeod. 1994. Osmotic pressure, water kinetics and volatile fatty acid absorption in the rumen of sheep sustained by intra gastric infusions. *British J. of Nutr.* 71:153-168.

- Mackie, R. I., and F. M. C. Gilchrist. 1981. Stepwise adaptation of sheep fed *ad libitum* a high concentrate and its effect on ruminal pH and lactic acid concentration. *South Afric. J. Anim. Sci.* 11:229-236.
- Malestein, A., A. T van. klosster, R. A. Prins, and G. H. M. Connote. 1984. Concentrate feeding and ruminal fermentation. 3. Influence of concentrate on pH, on DL-lactic acid concentration in rumen fluid of dairy cows and on dry matter intake. *Netherlands J. of Agric. Sci.* 32:9-21.
- Meissner, H.H. and U. Todtenhofer. 1989. Influence of casein and glucose or starch supplementation in the rumen or abomasum on utilization of *Eragrostis curvula* hay by sheep. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 19(1):43-49.
- Meissner, H.H. and Du Preez H.P.F. 1996. Ruminal and postruminal digestion of dietary protein and starch in steers 1. Effects of protein concentration, degradation of protein and energy content of the diet. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 26(3/4):59-65.
- Mirgani, T., and S. M. A. Bakhit. 1990. Effect of intraruminal administration of molasses on blood glucose concentration and rumen VFA concentrations in camels, sheep and goats. *World Rev. of Anim. Prod.* 25:81-84.
- Muir, L. A., E. L. Rickes, P. F. Duquette and G. E. Smith. 1980a. Control of wheat-induced lactic acidosis in sheep by thiopeptin and related antibiotics. *J. Anim. Sci.* 50:547-553.
- Muir, L. A., P. F. Duquette, E. L. Rickes and G. E. Smith. 1980b. Thiopeptin for the prevention of ovine lactic acidosis induced by diet change. *J. Anim. Sci.* 51:1182-1188.
- Muir, L. A., E. L. Rickes, P. F. Duquette and G. E. Smith. 1981. Prevention of induced lactic acidosis in cattle by thiopeptin. *J. Anim. Sci.* 52:635-643.
- Nagaraja, T. G., E. E. Bartley, L. R. Fina and H. D. Anthony. 1978. Relationship of rumen gram-negative bacteria and free endotoxin to lactic acidosis in cattle. *J. Anim. Sci.* 47:1329-1337.
- Nagaraja, T. G., Avery, E. E. Bartley, S. J. Galitzer and A. D. Dayton. 1981. Prevention of lactic acidosis in cattle by lasalocid or monensin. *J. Anim. Sci.* 53:206-216.
- Nagaraja, T. G., T. B. Avery, E. E. Bartley, S. K. Roof and A. D. Dayton. 1982. Effect of lasalocid, monensin or thiopeptin on lactic acidosis in cattle. *J. Anim. Sci.* 54:649-658.
- Nikolov, Y. 1966. Clinical experimental studies on acute rumen acidosis in buffaloes (*Bubalus bubalis* L.) 1. Influence of acute rumen acidosis on ruminal function. *Trachia University, Stara Zagora, Bulgaria. Veterinarski-Archiv.* 66:147-154.
- 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.
- Owens, D., McGee M., Boland T., and Kiely P.O. 2008. Intake, rumen fermentation and nutrient flow to the omasum in beef cattle feed grass silage fortified with

- sucrose and /or supplemented with concentrate. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 144:23-43.
- Schoonmaker, J.P., Cecava M.J., Faulkner D.B., Fluharty F.L., Zerby H.N. and Loerch S.C. 2003. Effect of source of energy and rate of growth on performance, carcass characteristics, ruminal fermentation, and serum glucose and insulin of early-weaned steers. *J. Anim. Sci.* 81:843-855.
- Sigma Diagnostics. Procedure No. 826-UV. Previous Revision: Mar. 1989; Revised: Oct. 1990.
- Slyter, L. L., R. R. Oltjen, D. L. Kern, and F. C. Blank. 1970. Influence of type and level of grain and diethylstilbestrol on the rumen microbial populations of steers fed all-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 31:996-1002.
- Slyter, L. L. 1976. Influence of acidosis on rumen function. *J. Anim. Sci.* 43:910-929.
- Slyter, L. L., and T. S. Rumsey. 1991. Effect of coliform bacteria, feed deprivation, and pH on ruminal D-lactic acid production by steer on continuous-culture microbial populations changed from forage to concentrates. *J. Anim. Sci.* 69:3055-3066.
- Stock, , R. A., S. B. Laudert, W. W. Stroup, E. M. Larson, J. C. Parrot, and R. A. Britton. 1995. Effect of monensin and monensin and tylosin combination on feed intake variation of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 73:39-44.
- Soto, S. A., G. C. Duff, K. J. Malcolm-Callis, and C. R. Krehbiel. 1998. Influence of rate of gain and feed intake fluctuation on performance in limit-fed steers. In: Plains Nutrition Council Spring Conference. Texas A& M Rech. And Ext. Center. Amarillo, TX. No. AREC 98-24. pp. 100.
- Suda, K., M. Hiramatsu, and Y. Motoi. 1994. Changes on ruminal flora and endotoxin concentration in acidosis steers induced by sucrose injection. *Ani. Sci. and Technology.* 65:1143-1149.
- Suda, K., H. Hiramatsu, Y. Kobayashi, Y. Motoi, M. Wakita, and S. Hoshino. 1995. Effects of ionophores on lactate and endotoxin production in the in vitro incubation of ruminal fluid. *Ani. Sci. and Technology.* 66:869-874.
- Telle, P. P. and R. L. Preston. 1971. Ovine lactic acidosis: intraruminal and systemic. *J. Anim. Sci.* 33:698-705.
- Tremere, A. W., W. G. Merrill, and J. K. Loosli. 1968. Adaptation to high concentrate feeding as related to acidosis and digestive disturbances in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 51:1065-1072.
- Uhart, B. A. and F. D. Carroll. 1967. Acidosis in beef steers. *J. Anim. Sci.* 26:1195-1198.
- Van Campen, D. 1986. Effects of buffers on ruminal acids. In: M. S. Weinberg (Ed) Symposium Proceeding: Buffers in Ruminant Physiology and Metabolism, University of Arizona, Tucson. pp 82:95.

- Vogel, G. J., and C. Parrot. 1994. Mortality survey in feedyards: the incidence of death from digestive, respiratory, and other causes in feedyards on the great plains. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian* 16:227-234.
- Wilson, J. R., E. E. Bartley, H. D. Anthony, B. E. Brent, D. A. Sapienza, T. E. Chapman, A. D. Dayton, R. J. Milleret, R. A. Frey and R. M. Meyer. 1975. Analysis of rumen fluid from "suddenddeath", lactic acidotic and healthy cattle fed high concentrate ration. *J. Anim. Sci.* 41:1249-1255.
- Zhao, G. Y., M. Duric, N. A. Macleod, E. R. Orskov, F. D. Hovell, and Y. L. Feng. 1995. The use of intra gastric nutrition to study saliva secretion and the relationship between osmotic pressure and water transport. *J. of British Nutr.* 73:155-161.
- Zinn, R. A. 1987. Programming feed intake to optimize performance of feedlot cattle. In: F. N. Owens (Ed.) *Symposium Proceedings: Feed Intake by Feedlot Cattle*, Oklahoma Agric. Exp. Sta. MP-121:290.
- Zinn, R. A. 1990. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 68:767-775.
- Zinn, R. A. 1991. Comparative feeding value of steam-flaked corn and sorghum in finishing diets supplemented with or without sodium bicarbonate. *J. Anim. Sci.* 69:905-916.
- Zinn, R. A. 1994. Influence of fluctuating feed intake on feedlot cattle growth-performance and digestive function. In: *Proc. Southwest Nutrition and Management Conference*, University of Arizona, Tucson. pp. 77-83.

Effect of wheat straw level and processing method on site and extent of digestion by
cattle consuming finishing feedlot diets

Manriquez, O. M.^a, M. F. Montano^{a*}, J. F. Calderon^a, Valdez, J. A.^a, J. O. Chirino^a, V.
M. Gonzalez^a, J. Salinas-Chavira^b, G. D. Mendoza^c, S. Soto^d and R. A. Zinn^e.

^aInstituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autonoma de Baja
California, Mexico^b, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad

Autonoma de Tamaulipas ^cUniversidad Autonoma Metropolitana, Xochimilco, Mexico.

^dDepartment of Animal and Range Sciences, New Mexico State University, USA.

^eDepartment of Animal Science, University of California, Davis 95616, USA.

ABSTRACT

Holstein steers (216 ± 5 kg BW), fitted with ruminal and duodenal cannulas, were used to evaluate wheat straw inclusion level (7 and 14%; DM basis) and roughage processing method (ground vs pellet) on characteristics of digestion of steam-flaked corn finishing diets. The experimental design was a 4 x 4 Latin square with a 2 x 2 factorial arrangement of treatments. With 7% straw, DM intake was lower (2.3%, $P < 0.01$) for pelleted straw than for ground. Digestibility of ruminal OM (6%), true ruminal N digestibility (9.7%), total tract OM (3.9%), and total tract N (4.2%) were greater ($P \leq 0.05$) for diets that contained 7% wheat straw than for those that contained 14%. Ruminal starch digestibility (88.7, and $84.9 \pm 0.74\%$, for pelleted and ground, respectively) was greater ($P = 0.04$) and ruminal pH (5.44 and 5.76 ± 0.22 , for pelleted and ground, respectively) was lower ($P = 0.05$) for diets that contained pelleted straw than for those that contained ground straw. Steers fed 7% wheat straw had greater OM and N digestibility. Wheat straw is a viable

* Corresponding autor: martinmg@uabc.edu.mx

roughage source for feedlot diets. However, when included at low levels, the pelleted form does not elicit the optimum rumen function stimulation.

Key words: Digestion, feedlot cattle, processing, wheat straw

1. Introduction

Roughages are included in feedlot diets to reduce digestive and metabolic problems (Galyean and Defoor, 2003). Feedlot receiving diets typically include approximately 35% roughage to allow adaptation of ruminal bacteria to concentrate diets (Owens and Goetsch, 1988; Berry et al., 2004). Due to roughage is added to high-concentrate diets to stimulate chewing which is associated with increased saliva output (Balch, 1958), and plays a role in buffering acids produced during rumination, most finishing diets generally contain 4.5 to 13.5% (DM basis) roughage (Vasconcelos and Galyean, 2007). Dry matter intake increases with increasing roughage level but gain efficiency decreases because energy density of diets decreases with increasing roughage level (Bartle et al., 1994). Therefore, wheat straw needs to be included at a minimum level required for appropriate rumen function stimulation. Both roughage concentration and physical form contribute to normal rumen function (Woodford et al., 1986). Different inclusion levels or methods of processing wheat straw might allow decreasing its inclusion in the diet without negatively influencing the characteristics of digestion. The objective of this experiment was to evaluate the influence of wheat straw inclusion level and processing method on characteristics of digestion of steam-flaked corn finishing diets.

2. Materials and Methods

Four Holstein steers (216 kg) fitted with ruminal and duodenal cannulas were used in a 4 × 4 Latin square design. Treatments were arranged in a 2 × 2 factorial. Factors were inclusion level (7 and 14%, DM basis) and processing method (ground or pelleted). Wheat straw was ground in a tub grinder with a 3.81-cm screen; the particle size was 3.5-cm average. Before pelleting wheat straw was grinding using a 3/64" screen. For the pelleting process was used a Century CPM machine, with a 1/4" flat die. The temperature at pelleting was 80°C and steam pressure was 71 lbs. Pellet dimensions were 2 cm long x 0.5 cm diameter on average.

Steers were maintained in individual pens (3.9 m²) with individual feeders and ad libitum access to water. Diets were fed at 0800 and 2000. Chromic oxide (0.35%) was first mixed into the concentrate and after added to the diet as a digesta marker. The experiment consisted of four 14-d periods. Experimental periods lasted 14 d, with 10 d for adaptation to the diets and 4 d for collection. During the collection, duodenal and fecal samples were taken from each steer, twice daily over a period of 4 successive days as follow: d 1, 0750 and 1350; d 2, 0900 and 1500; d 3, 1050 and 1650 and d 4, 1200 and 1800. Individual samples consisted of approximately 500 mL duodenal chyme and 200 g (wet basis) fecal material. Samples from each steer and within each collection period were composited for analysis. During the final day of each collection period, fresh ruminal samples were obtained from each steer at approximately 4 h after feeding for ruminal pH. Samples were strained through 4 layers of cheesecloth. Two milliliters of freshly prepared 25% (wt/vol) meta-phosphoric acid was added to 8 mL of strained ruminal fluid. Samples were then centrifuged (17,000 × g for 10 min), and supernatant fluid was stored at -20°C for VFA analysis (gas chromatography; Zinn, 1988). Upon completion of the experiment, ruminal fluid was obtained from all steers and composited for isolation of ruminal bacteria via

differential centrifugation (Zinn and Owens, 1986). Samples were subjected to all or part of the following analysis: DM (oven drying at 105° C until no further weight loss); ash, Kjeldahl N (AOAC, 1997); purines (Zinn and Owens, 1986); chromic oxide (Hill and Anderson, 1958); starch (Zinn, 1990); NDF (Robertson and Van Soest (1991). Microbial OM (MOM) and N (MN) leaving the abomasum were calculated using purines as a microbial marker (Zinn and Owens, 1986). Organic matter fermented in the rumen (OMF) was considered equal to OM intake minus the difference between the amount of total OM reaching the duodenum and MOM reaching the duodenum. Feed N escape to the small intestine was considered equal to total N leaving the abomasum minus ammonia-N and MN and, thus, included any endogenous contribution.

The Mixed procedures of SAS were used for all computations (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Data were analyzed as a Latin Square design. The model included roughage level, processing method, level \times method, and period as fixed effects, and steer as random effect. If significant ($P < 0.05$) F-statistics were detected, means were separated using the method of least significant difference.

3. Results and Discussion

There was no processing forage effects for ruminal digestion of OM, NDF, feed N and microbial efficiency ($P > 0.10$). Ruminal starch digestibility was greater ($P = 0.04$) for diets that contained pelleted straw than those that contained ground straw. In agreement, Ware and Zinn (2005) in feedlot diets with pelleted or ground rice straw reported greater ruminal starch digestion for pelleted than ground straw diet.

In current study, ruminal pH was lower ($P = 0.01$) for pelleted than ground forage diets. The lower ruminal pH for pelleted results from greater ruminal starch digestibility for

pelleted than for ground-straw diet. Ware and Zinn (2005) found that pelletized rice straw as sole forage source, decreased ruminal pH (9%), with increase in ruminal total VFA (24%) and propionate (47%). They observed a relation with the ruminal pH decrease and the increase in ruminal propionate. In addition, lower ruminal pH for pelleted forages is attributed to reduction chewing and rumination time. Mertens (1997) observed that pelletizing alfalfa reduced total chewing activity by 50% compared with that of coarsely chopped hay; also, de Vega et al. (2000) reported diminution in eating and ruminating time for pelleted than chopped hay. For present study, the reduction in eating and ruminating for pelleted straw diets may provoke reduction in saliva production, with reduction in ruminal pH.

Thomson and Cammell (1979) found an increase on apparent absorption of methionine on intestine of lambs fed pelleted lucerne hay. They attributed this effect to an increase in rate of passage of particulate matter from rumen. Faster rate of digesta passage in pelleted hay also is reported by de Vega et al. (2000).

There was no forage level effects on ruminal pH, ruminal digestion of NDF, starch and microbial efficiency ($P>0.20$). In agreement with present study, several reports did not find effect of forage level on ruminal digestion of starch (Zinn, 1986; Zinn et al., 1994 Calderon-Cortes and Zinn, 1996; Zinn and Plascencia, 1996; Zinn et al., 2000). In different results, Cole et al. (1976) reported lower ruminal starch digestibility in diets with 7, 14 or 21% of forage than diet containing 0% of forage.

In current study forage level did not affected ruminal pH; in contrast, other reported that increased forage level increased ruminal pH (Zinn et al., 1994; Zinn and Plascencia, 1996; Calderon-Cortes and Zinn, 1996; Zinn et al., 2000). This difference may be due to forage type; present study used wheat straw, while other used alfalfa or Sudangrass hay. In addition, also there are differences in level and processing of forage.

Ruminal OM digestibility was greater ($P = 0.02$) for diets that contained 7% straw than for those that contained 14% of straw. Increase in rumen digestibility of OM was expected because steam-flaked corn provides greater digestibility than wheat straw (NRC, 2000), and steam-flaked corn replaced wheat straw in diet with 7% roughage level. In agreement, Zinn and Plascencia (1996) reported higher ruminal OM digestibility in diets with 10% of alfalfa hay than diets with 30% of alfalfa. Calderon-Cortes and Zinn (1996) with 16 and 8% of Sudangrass hay in feedlot diets, although non statistical, observed an increase of 7% in ruminal OM digestibility in diet with 8% of hay. However, other reports did not observe effect of forage level in feedlot diets on ruminal digestibility of OM (Zinn et al., 1994; Zinn, 1986).

Ruminal digestibility of feed N was greater ($P = 0.05$) for diets that contained 7% straw than those that contained 14% of straw. In different way, other authors found lower ruminal digestion of feed N in diets with lower forage level (Zinn et al., 1994; Zinn et al., 2000) or no effect of forage level in diet on ruminal digestion of feed N (Zinn, 1986; Calderon-Cortes and Zinn, 1996; Zinn and Plascencia, 1996).

High forage level in diets had greater fecal excretion of NDF and consequently, lower total tract digestibility of NDF ($P=0.01$). In feedlot diets it was observed that high forage level increased fecal excretion of ADF; however, total tract digestion of ADF was not affected (Zinn, 1986; Zinn and Plascencia, 1996; Calderon-Cortes and Zinn, 1996). In different results, Zinn et al. (1994) did not find effect of forage level on fecal excretion or total tract digestibility of ADF.

Fecal excretion in high forage level tended to be higher for OM ($P=0.07$) and starch ($P=0.09$). Total tract digestion was greater in low forage level for OM ($P=0.01$) and tended to be higher ($P=0.10$) for starch. Consistently for OM, fecal excretion increased and total tract digestion was reduced with high forage level (Zinn, 1986; Zinn and Plascencia, 1996;

Zinn et al., 1994; Calderon-Cortes and Zinn, 1996). In different way for starch, Zinn et al. (1994) reported that high forage level diets had lower starch in feces and consequently, higher digestibility. Other authors did not find effect of forage level on starch content in feces or total tract digestibility (Zinn, 1986; Zinn and Plascencia, 1996; Calderon-Cortes and Zinn, 1996).

In current study high forage level tended to increase ($P=0.06$) fecal excretion of N and consequently total tract digestion was lower ($P=0.05$). These results are consistent with Zinn and Plascencia (1996) and Calderon-Cortes and Zinn (1996).

4. Implications

Wheat straw is a viable roughage source for feedlot diets. The pelleted form increased ruminal starch digestion and decreased ruminal pH, which may affect rumen function. Ground wheat straw at low levels had less effect on ruminal digestion and increased total tract digestion of nutrients, which may improve digestive function of cattle.

References

- AOAC., 1997. Official Methods of Analysis. 16th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA.
- Balch, C.C., 1958. Observations on the act of eating in cattle. *Br. J. Nutr.* 12:330-3345.
- Bartle, S.J., Preston, R.L., Miller, M.F., 1994. Dietary energy source and density: Effects of roughage source, roughage equivalent, tallow level, and steer type on feedlot performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 72:1943-1953.
- Berry, B.A., Krehbiel, C.R., Confer A.W., Gill, D.R., Smith R.A., Montelongo, M., 2004. Effects of dietary energy and starch concentrations for newly received feedlot calves: I. Growth performance and health. *J. Anim. Sci.* 82:837-844.

- Calderon-Cortes, J.F., R.A. Zinn., 1996. Influence of dietary forage level and forage coarseness of grind on growth performance and digestive function in feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 74:2310-2316.
- Cole, N.A., Johnson, R.R., Owens. F.N., 1976. Influence of roughage level on the site and extent of digestion of whole shelled corn by beef steers. *J. Anim. Sci.* 43:483-489.
- de Vega, A., Gasa, J., Guada, J.A., Castrillo, C., 2000. Frequency of feeding and form of lucerne hay as factors affecting voluntary intake, digestibility, feeding behaviour, and marker kinetics in ewes. *Aust. J. Agric. Res.* 51:801–809
- Galyean, M.L., Defoor P.J., 2003. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81(E. Suppl. 2):E8-E16.
- Hill, F.N., Andersen, D.L., 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587-603.
- Lesoing, G., Rush, I., Klopfenstein, T.K., Ward, J., 1980. Wheat straw in growing cattle diets. *J. Anim. Sci.* 51:257-262.
- Mertens, D.R., 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:1463-1481.
- NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle (7th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Owens, F.N., Goetsch, A.L., 1988. Ruminant Fermentation. Page 145 in the *Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition*. D. C. Church, ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Robertson, J.B., Van Soest, P.J., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.

- Thomson, D.J., Cammell, S.B., 1979. The utilization of chopped and pelleted lucerne (*Medicago sativa*) by growing lambs. *Br. J. Nutr.* 41:297-310.
- Vasconcelos, J.T., Galyean, M.L., 2007. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: The 2007 Texas Tech University survey. *J. Anim. Sci.* 85:2772-2781.
- Ware R.A., Zinn R.A., 2005. Effect of pelletizing on the feeding value of rice straw in steam-flaked corn growing-finishing diets for feedlot cattle. *Animal Feed Science and Technology.* 123–124:631–642
- Woodford, J.A., Jorgensen, N.A., Barrington G.P., 1986. Impact of dietary fiber and physical form on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 69:1035-1047.
- Zinn, R.A., 1986. Influence of forage level on response of feedlot steers to salinomycin supplementation. *J. Anim. Sci.* 63:2005-2012.
- Zinn, R.A., 1990. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 68:767-775.
- Zinn, R.A., Owens, F.N., 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 66:157-166.
- Zinn, R. A. 1988. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. *J. Anim. Sci.* 66:213–227.
- Zinn, R.A., Plascencia, A., Barajas, R. 1994. Interaction of forage level and monensin in diets for feedlot cattle growth performance and digestive function. *J. Anim. Sci.* 72:2209- 2215.
- Zinn, R.A., Plascencia, A. 1996. Effects of forage level on the comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 74:1194-1201.

Zinn, R.A., Alvarez, E.G., Calderon, F., Chai, W., Montaña, M., Ramirez, J.E., Salinas, J. 2000. Influence of dietary forage level on growth performance and digestive function in cattle fed steam flaked corn based growing finishing diets. Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science. 51:527-532.