

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRICOLAS



**EFFECTO DE NIVEL DE INCLUSIÓN Y TIPO DE PROCESADO DE MAÍZ
SOBRE FUNCIÓN RUMINAL Y DIGESTIÓN TOTAL EN NOVILLOS
ALIMENTADOS CON DIETAS DE FINALIZACIÓN**

TESIS

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

PRESENTA

MVZ. José Meléndrez Lozano

Director de tesis

Dr. Martin Francisco Montaña Gómez

Asesores

**Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez
Dr. Víctor Manuel González Vizcarra
Dr. José Fernando Calderón y Cortés**

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

DICIEMBRE DE 2013

Efecto de nivel de inclusión y tipo de procesado de maíz sobre función ruminal y digestión total en novillos alimentados con dietas de finalización. Tesis presentada por José Meléndrez Lozano como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Sistemas de Producción Animal, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:

Dr. Martín Francisco Montaña Gómez
Director Principal

Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez
Asesor

Dr. Víctor Manuel González Vizcarra
Asesor

Dr. José Fernando Calderón y Cortés
Asesor

Mexicali, Baja California

Diciembre de 2013

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	9
OBJETIVO.....	13
HIPÓTESIS.....	14
REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
Efecto de tipo de procesamiento sobre digestión del almidón.....	15
Efecto de tipo de procesamiento sobre ganancia de peso.....	17
Efecto de tipo de procesamiento sobre consumo de materia seca y tasa de pasaje	18
MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
CONCLUSIONES.....	28
LITERATURA CITADA.....	29

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. José Fernando Calderón , 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.

DEDICATORIA

A mis padres:

Julio Meléndrez Corona

Amalia Lozano Saucedo

Por apoyarme en cada etapa de mi vida y ser un ejemplo de honestidad y esfuerzo nunca perder la esperanza en mí.

A mi esposa: Ma. Jesús Lozano López, y a mis hijos José, Diego, David y Fernando por amarme y apoyarme en todo

RESUMEN

Se utilizaron seis novillos raza Holstein (308 ± 17 kg PVV) habilitados con cánulas tipo "T" en rumen y duodeno proximal, con la finalidad de evaluar el efecto del tipo de procesamiento y nivel de inclusión de grano de maíz sobre las características de digestión y función ruminal. Cada una de las unidades experimentales fue alojada en una corraleta individual con comedero individual y bebedero automático compartido. La dieta basal consistió en maíz amarillo hojueado a vapor. Los tratamientos consistieron en el nivel (0, 33.3 y 66.7%) de sustitución de maíz hojueado a vapor (0.31 kg/litro) por maíz hojueado rerolado. Se consideró como grano rerolado al grano de maíz que habiendo sido previamente hojueado, ya estando seco se pasó nuevamente por los rodillos sin aplicación previa de vapor, con la finalidad de simular la pérdida de integridad, la cual puede ocurrir como resultado del manejo de los insumos de las dietas. El consumo (BMS) se ajustó al 2.2% del peso vivo promedio, ofreciéndose durante la prueba alimento fresco en forma diaria en dos tomas. Se utilizó un diseño de Cuadrado Latino Replicado 3 x 3. Con la finalidad de eliminar efectos residuales se consideraron períodos de descanso de una semana entre períodos. Las reducciones en el tamaño de partícula del maíz hojueado a vapor como resultado del rerolado no afectaron ($P > 0.10$) la digestión ruminal o total de MO, FND, N o almidón ($P > 0.10$). DE la misma manera, no se observaron efectos de los tratamientos ($P > 0.10$) sobre la eficiencia microbial a nivel ruminal, el pH ruminal ni la proporción molar de AGV. Por lo anterior, concluimos que el impacto de la desintegración que los granos de maíz hojueados a vapor sufren durante el

manejo habitual en un corral de engorda, sobre las características de digestión será marginal o escasamente apreciable.

Palabras Clave: Bovino, digestión, procesamiento de grano, maíz, comportamiento.

ABSTRACT

Six Holstein steers (308 ± 17 kg) with cannulas in the rumen and proximal duodenum were used in a replicated 3x3 Latin square design to evaluate treatment effects on characteristics of digestion. Three levels (0, 333 and 667 g/kg) of re-rolled SFC replaced standard SFC (0.31 kg/liter) in a corn-based finishing diet (DM basis). Diets were offered as total mixed rations. Re-rolled SFC consisted of standard air-dry SFC that was passed through the rollers a second time to simulate loss of flake integrity which can occur during feed-handling. Reductions in particle size of SFC due to rerolling did not influence ($P > 0.10$) ruminal or total tract digestion of OM, NDF, N, or starch ($P > 0.10$). Likewise, there were no treatment effects ($P > 0.10$) on ruminal microbial efficiency, ruminal pH, or ruminal VFA molar proportions. It is concluded that the impact of flake disintegration during conveyance and handling on feedlot cattle growth performance and characteristics of digestion will be marginal, if appreciable.

Key words: Cattle, digestion, grain processing, maize, performance

INTRODUCCIÓN

El engorde en corral representa una de las principales formas de producción intensiva de bovinos para carne, la cual contempla la utilización de dietas de finalización para novillos, entre cuyas características se encuentra su alto contenido de cereales hojueados (Ametaj et al., 2009). En este sistema, la variable de mayor incidencia en el costo de producción es el alimento, razón por la cual la eficiencia de utilización del mismo es un aspecto fundamental en la eficiencia global del sistema de producción (Taylor, 1972).

Las dietas de finalización destinadas para el ganado de engorda se caracterizan por contener cantidades de cereales que pueden llegar a representar el 70% o más de la ración (Phillippeau et al., 1999a). El cereal más utilizado es, por sus características, el maíz, ya que su alto contenido de almidón, su fácil procesamiento y los factores asociativos que le confiere su inclusión a las dietas, lo hacen el cereal por excelencia para este tipo de raciones (Cooper et al., 2002).

El valor nutricional del maíz está estrechamente relacionado con la disponibilidad del almidón presente para que éste sea digerido y absorbido, sin causar efectos negativos como la presentación de acidosis en los rumiantes (Orskov, 1986). Sin embargo, para disponer eficientemente del almidón es necesario procesar el grano, ya que las limitantes para digerir el almidón son: a) la matriz proteica que lo envuelve y b) el tipo de almidón que lo conforma, principalmente la proporción de amilopectina (almidón de cadena ramificada) y

amilosa (almidón de cadena lineal) y c) la interrelación almidón-proteína presente en el grano (Thorne et al., 1983).

El procesamiento de los cereales es una práctica generalizada en las engordas en el noroeste de México. Se ha observado un aumento en el valor de la energía neta (EN) en respuesta al procesamiento de granos en forma de hojuelas (Owens et al., 1997; Lee et al., 1982; Zinn et al., 2002), así como cambios en la solubilidad de la proteína a nivel ruminal (Zinn, 1994; Bauchemin et al., 2001). El rolado a vapor consiste en la gelatinización del almidón, lo cual permite incrementar su digestibilidad. La digestibilidad del almidón contenido en el grano está limitada por la matriz de proteína que encapsula los gránulos de almidón, y por la naturaleza compacta del almidón en si mismo. El rompimiento de la matriz de proteína como resultado del proceso de rolado al vapor, elimina la limitante existente en la digestión del almidón, permitiendo convertir almidones insolubles en azúcares.

Como resultado de este proceso, el animal absorbe una mayor parte del alimento en el tiempo limitado por el cual pasa por el sistema digestivo, aprovechando el alimento en una proporción muy alta, lo cual no sucede con el grano molido. Por ejemplo, en el caso del maíz rolado al vapor, se obtiene al menos un 95% de digestibilidad. Además, otra ventaja del rolado es que durante el desarrollo del proceso las pérdidas de grano son casi nulas. Esto permitiría mejorar la digestibilidad del almidón y aumentar el contenido de energía

metabolizable, especialmente si se le compara con el grano entero (Ishida et al., 1997).

Diversos estudios han evidenciado los beneficios que proporciona el grano rolado al vapor. Pruebas realizadas en la Universidad de California mostraron que el rolado a vapor mejora el valor de la ENm del maíz hasta en un 15% y la ENg en un 19% (Corona et al., 2005). Al mismo tiempo, diversos autores han demostrado que el principal efecto del procesado del grano de maíz (molido, rolado en seco o rolado a vapor, etc.), es favorecer la ruptura de la matriz proteica que contiene los gránulos de almidón, mejorando su digestibilidad en todo el tracto digestivo (Ownes et al., 1997; Zinn et al., 2002). El rumen es el sitio principal de utilización del grano. La fermentación ruminal es el proceso fundamental para generar la energía necesaria para el crecimiento y engorde (Owens et al., 1997). En ese sitio se fermenta la mayor parte de la fracción digestible del grano (60 al 85%) y la mayor proporción del almidón (más del 90%) si ha sido expuesto (Owens et al., 1997; Huck et al., 1998; Philippeau et al., 1999 a,b; Cooper et al., 2002b). El grano es fermentado por la flora ruminal, la que obtiene del mismo la energía y nutrientes para su proliferación. La masa microbiana fluye permanentemente desde el rumen hacia el estómago verdadero donde es digerida (digestión ácida). Por ser rica en proteína microbiana su mayor aporte a la nutrición del animal es en la forma de aminoácidos y péptidos, los que son absorbidos en el intestino. La proteína que aporta esa masa microbiana es generalmente de mayor valor biológico (más balanceada y completa para los requerimientos del animal) que la proteína ingerida (Huntington, 1997).

El intestino delgado es otro sitio de utilización del almidón (Owens et al., 1986). Esa digestión complementaria que puede ocurrir a nivel de tracto digestivo inferior (intestino delgado) hace que la digestibilidad del almidón sea casi completa (92 al 99%) (Waldo, 1973;Philippeau et al., 1999a;Pordomingo et al., 2002a). Pero, el tipo de almidón y el procesado del grano tienen una influencia directa sobre la tasa y sitio de digestión (Galyean et al., 1976; Nocek y Tamminga, 1991). Existe siempre, en mayor o menor medida, una fracción de almidón que escapa a la fermentación ruminal y que alcanza el intestino delgado donde puede ser digerida enzimáticamente y absorbida directamente como monómeros o dímeros de glucosa. El escape de almidón hacia el intestino delgado puede incluso mejorar la eficiencia de utilización de la dieta por su digestión directa (Waldo, 1973; Philippeau et al., 1999), afectar el sitio de digestión del nitrógeno, y mejorar la eficiencia de conversión de la materia seca (Russell et al., 1981;Streeter et al., 1989). Este mecanismo, sin embargo, es limitado porque la capacidad intestinal para remover almidón de la ingesta es inferior a la de los monogástricos (Huck et al., 1998; Russell et al., 1981;Wens et al., 1986;Swanson et al., 2002).

OBJETIVO

Evaluar el efecto de la intensidad de procesamiento y nivel de inclusión de grano de maíz hojueado sobre las características de digestión y función ruminal

HIPOTESIS

La intensidad de procesamiento de grano de maíz hojueado y el nivel de inclusión pueden afectar la digestibilidad de nutrientes en dietas de finalización.

REVISIÓN DE LITERATURA

Efecto de tipo de procesamiento sobre digestión de almidón.

El grano de maíz que no es procesado o no es masticado por el animal, es prácticamente indigestible en rumen y en intestino (Galyan et al., 1979, Santini y Elizalde, 1993), ya que la ruptura del pericarpio que rodea al grano es de vital importancia para poder dar inicio a la digestión del almidón (Brent y Therurer, 1986). Mientras que varios autores (Cooper *et al.*, 2002; Zinn et al., 2002; Corona et al., 2005), mencionan que para disponer eficientemente del almidón es necesario procesar el grano, con lo cual se obtiene entre otras ventajas al menos un 95% de digestibilidad. Si bien varios autores han demostrado que la digestión del almidón mejora a medida que la intensidad del procesamiento aumenta, la implementación de este tipo de tecnología implica un costo económico y ocasiona inconvenientes operativos. Aunque el hojueleado a vapor usualmente ha proporcionado las mayores ventajas en comparación con otros procesamientos, su grado de intensidad tiene límites. Sobre esto, Swingle et al. (1999), basándose en variables tales como el comportamiento de novillos en engorda, los costos de procesamiento y la digestibilidad de la proteína y almidón de la dieta, no observaron mejoría en respuesta al sobreprocesamiento del grano de maíz. Por otra parte, Maresca et al. (1995) reportan que la utilización de grano de maíz entero, en animales de hasta 230 kg de peso vivo permitió mejorar la eficiencia de conversión en un 10 % con respecto al grano partido, ya que mantuvo similares ganancias de peso y disminuyó el consumo. Al mismo tiempo, observaron que en

función de la producción de heces y el consumo de alimento se estimó que entre el 7 y el 9.5% del grano consumido por los novillos. En animales jóvenes (de menos de 270 kg de peso vivo), no hay diferencias significativas en cuanto a la eficiencia de utilización del maíz cuando es ofrecido entero o partido. Esta categoría de animales mastica con más eficiencia el grano durante la ingestión, aumentando su digestibilidad con respecto a los animales adultos.

Por otro lado, la utilización de grano de maíz entero en la dieta de animales jóvenes evitaría el costo adicional del procesamiento, y disminuiría la posible ocurrencia de desequilibrios metabólicos (acidosis) como consecuencia de su menor tasa de fermentación ruminal con respecto al procesado. 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 (Britton y Stock, 1986; Stock et al., 1995). Los efectos asociativos negativos entre el almidón y la fibra en el rumen podrían ser inferiores en dietas con maíz enteros que en dietas con grano aplastado o molido, consecuencia de una mayor estabilidad ruminal (Zinn y Owens, 1983). Asimismo, si la digestión del grano no se afecta, 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).

Efecto de tipo de procesamiento sobre ganancia diaria de peso

Mientras que Swingle et al. (1999), no observaron mejoría en respuesta al sobreprocesamiento del grano de maíz, Owens et al. (1997), mencionan que el procesado intenso del grano de maíz reduce las ganancias diarias de peso debido a disminuciones en el consumo de MS como consecuencia de cuadros de acidosis subclínicas, producidas por altas tasas de fermentación ruminal y una gran producción de ácidos grasos volátiles. Estos autores observaron que los efectos negativos sobre el consumo de materia seca se producirían con métodos de procesados más severos (rolado al vapor, copos al vapor, maíz con alta humedad, etc.) que con el partido del maíz. En concordancia (Ramírez et al., 1985; Ward et al., 2000) han reportado la posible ocurrencia de desequilibrios metabólicos (acidosis) como consecuencia de un sobreprocesamiento de los cereales, por lo que recomiendan la utilización de granos poco procesados o la combinación en la misma dieta de granos procesados y no procesados, con lo cual se disminuiría la presencia de trastornos digestivos.

El grano de maíz puede ser molido finamente para maximizar la digestión en tracto total, ya que las partículas que son grandes e hidrofóbicas resisten al ataque microbiano en el rumen y al enzimático en el intestino (Orskov, 1986; Owens et al., 1997). Aunque el molido fino puede incrementar el grado de digestión del almidón, principalmente debido a un incremento en la desaparición del almidón en el rumen, el almidón de maíz quebrado que sale del rumen se ha observado que es pobremente digerido en el intestino delgado y puede ser

fermentado en el intestino grueso. Debido a que partículas de almidón muy finas son fermentadas muy rápidamente en el rumen y pueden causar acidosis, el molido fino es evitado en dietas ricas en almidón para rumiantes. Sin embargo, si suficiente forraje es incluido en la dieta para prevenir la acidosis y el ganado es alimentado con frecuencia con una dieta integral, existe una menor probabilidad de que el molido a un tamaño de partícula fino cause acidosis, mejorando al mismo tiempo la digestibilidad del almidón y la eficiencia alimenticia (Elizalde et al., 1999). Comparado con grano quebrado, el grano molido, típicamente tiene mayor rango en el tamaño de partícula debido a los finos generados durante el molido.

Efecto de tipo de procesamiento sobre consumo de materia seca y tasa de pasaje.

Acorde con Ewin y Johnson (1987), el sitio y extensión de la digestión de los diferentes componentes de las dietas para bovinos está en función a la tasa de digestión y al tiempo en que cada uno de los componentes permanece en cada segmento del tracto digestivo. Una posible explicación al mayor consumo observado en animales alimentados con grano partido sería el incremento en la velocidad de pasaje a través del tracto digestivo. Sobre esto, Ewing et al. (1986), estudiaron el efecto del tamaño de partícula del grano de maíz sobre la velocidad de pasaje ruminal, determinando que a medida que se reduce el tamaño de partícula, en un rango de 8 a 1 mm, la tasa de pasaje ruminal aumenta. Por lo tanto, al analizar la conveniencia de procesar el grano de maíz como suplemento

en dietas forrajeras de buena calidad se debe tener en cuenta que debido a una mayor tasa de pasaje, la permanencia de la digesta en el tracto digestivo es reducida con lo que se estaría limitando el ataque bacteriano y las posibilidades de contar con un proceso de rumia adecuado. Además, habría un menor tiempo de exposición de los sustratos a las enzimas intestinales. Acorde con Armbruster (2005), estos trastornos digestivos podrían ser causados por diferencias en cuanto a la eficiencia de los diferentes procesamientos, principalmente en lo referente a las características de las partículas (tamaño y uniformidad), las cuales pueden variar grandemente, especialmente cuando se procesa grano seco.

Por lo antes expuesto, el objetivo del presente trabajo es el evaluar el efecto de la intensidad de procesamiento y nivel de inclusión de grano de maíz hojueleado sobre las características de digestión y función ruminal en novillos Holstein alimentados con dietas de finalización.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la Unidad de Metabolismo Digestivo del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Baja California, localizada a un kilómetro del fraccionamiento Campestre en la ciudad de Mexicali, Baja California. El clima se considera como cálido muy seco, con una temperatura media anual de 22°C, con oscilaciones de la media mensual mayores a 14 ° C, con lluvias en invierno (SARH, 2007).

Se utilizaron seis novillos raza Holstein (308 kg PVV) habilitados con cánulas tipo “T” rumen y en duodeno (a 6 cm del esfínter pilórico) con comedero individual y bebedero automático, en un diseño de Cuadrado Latino Replicado 3 x 3 con el fin de evaluar el efecto del tipo de procesamiento y nivel de inclusión de grano de maíz sobre las características de digestión y función ruminal. Las dietas formuladas (BMS) en base a maíz amarillo hojueado se muestran en la Tabla 2. Se añadió 0.40% de óxido crómico como marcador inerte para cálculo del flujo a duodeno y de excreción fecal de materia seca (MS). Los tratamientos fueron: TMT1) 100% del grano de maíz hojueado; TMT2) 50% del grano de maíz hojueado y 50% grano de maíz hojueado rerolado; TMT3) 100% grano de maíz hojueado rerolado. Se consideró como grano rerolado al grano de maíz que habiendo sido previamente hojueado, ya estando seco se pasó nuevamente por los rodillos sin aplicación previa de vapor. Cada uno de los períodos de descanso consistió en ofrecer a los animales solo la dieta basal. El consumo (BMS) se ajustó al 2.2% del peso vivo, ofreciéndose durante la prueba alimento fresco en forma

diaria en dos porciones iguales a las 08:00 y 20:00 h. El experimento consistió en tres períodos experimentales de 14 días (10 para adaptación a la dieta y 4 para colección de muestras). Durante el periodo de colección de muestras, las muestras duodenales (700 ml/d) y fecales (200 g base fresca) se tomaron a cada novillo dos veces al día en los siguientes horarios: día 1, 10:30 y 16:30 h; día 2, 09:00 y 15:00 h; día 3, 07:30 y 13:30 h y día 4, 06:00 y 12:00 h. Las muestras de cada novillo, en cada periodo de colección, se mezclaron con el propósito de formar una muestra compuesta misma que se congeló a -20°C para análisis posteriores. El último día, del último periodo experimental se tomó una alícuota de líquido ruminal para aislamiento de bacterias ruminales por centrifugación diferencial. Las muestras de cada novillo, en cada periodo de colección, se mezclaron con el propósito de formar una muestra compuesta misma que se congeló a -20°C para análisis posteriores. A las 4 h postconsumo (12:00 h), en el último día de cada periodo, se determinó el pH (Orion 261S, Fisher Scientific, Pittsburgh, PA) del contenido ruminal de una muestra obtenida ($\pm 500\text{ mL}$) de cada novillo mediante el uso de una bomba de vacío (Cole Parmer Instrument, Vernon Hill, IL). El último día, del último periodo experimental, muestras del fluido ruminal se obtuvieron de todos los novillos, se mezclaron y del resultante se tomó una alícuota para aislamiento de bacterias ruminales por centrifugación diferencial (Bergen et al., 1968). Las muestras generadas se sujetaron a todos, o parte de los siguientes análisis: Materia seca (MS; estufa desecando a 105°C , hasta peso constante), cenizas, N kjeldhal y nitrógeno amoniacal de acuerdo con lo estipulado por la AOAC (1984), energía bruta (EB) (utilizando una bomba calorimétrica adiabática modelo 1271; Parr Instrument Co., Moline, IL), purinas (Zinn y Owens,

1986), óxido crómico (Hill y Anderson, 1958), almidón (Zinn, 1990) y fibra detergente neutra (FDN) (Goering y Van Soest, 1970; corregida para cenizas insolubles). La cantidad de materia orgánica microbiana (MOM), así como el nitrógeno microbiano (NM) que fluye a duodeno se calculó con base en los análisis de las bacterias aisladas en el fluido ruminal así como en las muestras obtenidas de duodeno, usando 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 microbiano y MO total determinadas en duodeno (Zinn et al., 1996). El N consumido que escapa de la digestión ruminal (proteína de escape) se consideró como el equivalente al total de N que ingresa al duodeno menos la suma de las cantidades de N amoniacal y N microbiano que fluyen al duodeno. Los datos fueron analizados mediante un diseño de cuadrado Latino Replicado 3 x 3 de acuerdo al siguiente modelo: $Y_{ijk} = \mu + A_i + P_j + T_k + E_{ijk}$, en el cual μ es la media general, A_i es el animal, P_j es período, T_k el efecto de tratamiento, E_{ijk} es el error residual.

Los efectos de los tratamientos se contrastaron de la siguiente manera: 1) TMT1 vs. TMT2) TMT1 vs. TMT3) TMT2 vs. TMT3. Se considerará diferencia significativa cuando $P \leq 0.05$.

Tabla 1. Composición de dietas experimentales

Item	Proporción rerolado MHV		
	0	33.3	66.7
Ingredientes (g/kg BMS)			
Heno de alfalfa	80.0	80.0	80.0
Heno de sudán	40.00	40.0	40.0
Hojuelas de maíz al vapor			
Todo	773.0	515.3	257.7
Prerolado	0	257.7	513.7
Grasa	25.0	25.0	25.0
Melaza de caña	40.0	40.0	40.0
Piedra caliza	17.8	17.8	17.8
Urea	11.7	11.7	11.7
Bicarbonato de sodio	7.5	7.5	7.5
Sal mineral ^a	5.0	5.0	5.0
Composición de nutrientes			
NE, Mcal/kg			
Mantenimiento	9.2	9.2	9.2
Ganancia	6.4	6.4	6.4
Proteína cruda g/kg	13.0	130	130
Extracto etéreo g/kg	60.3	60.3	60.3
Calcio g/kg	8.0	8.0	8.0
Fósforo g/kg	2.8	2.8	2.8
Potasio g/kg	6.4	6.4	6.4

^aSal micromineralizada conteniendo: CoSO₄, 0.068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%; KI, 0.052%; y NaCl, 92.96%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las distribuciones de tamaño de partícula de maíz en hojuelas procesadas se muestran en la Tabla 2. Como era de esperarse, el rerolado del maíz en hojuelas aumentó significativamente la proporción de finos (partículas menores de 4,8 mm; 44 g/kg para el maíz hojueleado a vapor vs 674 g/kg para rerolado.

Tabla 2. Características de tamiz seco de todo y preenrolado en hojuelas de maíz^a

Item	Diámetro del tamíz (mm)					
	<3.2	3.2	4.8	6.4	8.0	9.6
Porcentaje retenido						
Hojuelas de maíz ^b						
Entero	1.6	2.8	4.5	7.8	10.1	73.2
Rerolado	39.4	28.4	18.7	10.1	2.9	0.9

^aLas muestras fueron secadas previamente en una estufa de aire forzado.

^bEntero se refiere al procesamiento estándar de 0.31 kg/L (24lb/bushel) de. Rerolado se refiere a maíz hojueleado a vapor que fue nuevamente secado y rolado.

Los efectos del tratamiento sobre las características de la digestión se muestran en la Tabla 3. Digestión ruminal del almidón, FDN y el N del alimento no fueron afectadas ($P \geq 0,10$) por los tratamientos. Al mismo tiempo, el aumento de la proporción de maíz rerolado no afectó la eficiencia microbiana ($P = .31$) o del N ($P = 0,15$), con un promedio 20.5 y 1.13, respectivamente. Del mismo modo, no se observaron efectos de los tratamientos ($P > 0.10$) sobre la digestión en tracto total de la MO, almidón, FDN o N.

Tabla 3. Influencia del tamaño de las partícula de hojuelas de maíz sobre características de digestión

Artículo	Proporción de prerolado SFC			P valor		
	0	33.3	66.7	Lineal	Cuadrático	CME
Replicaciones	6	6	6			
Consumo (g/d)						
CMS ¹	6780	6789	6780			
MO	6416	6414	6413			
FND	1042	1012	982			
N	118	118	119			
Almidón	3573	3581	3590			
Flujo a duodeno						
MO	2725	2830	2612	0.32	0.12	93
FND	534	467	432	0.12	0.76	51
Almidón	381	454	361	0.79	0.21	61
N	139	147	138	0.93	0.16	5.6
Microbial-N	92.0	95.4	97.9	0.35	0.93	5.2
NH-N	8.18	8.34	7.57	0.31	0.37	0.5
No amonia-N	131	139	131	1.00	0.15	5.1
Alimento-N	38.9	43.6	33.0	0.25	0.10	4.1
Digestibilidad ruminal						
MO	0.719	0.708	0.745	0.27	0.24	0.019
FND	0.488	0.539	0.561	0.24	0.78	0.050
Almidón	0.893	0.873	0.899	0.77	0.21	0.017
Alimento-N	0.670	0.632	0.723	0.22	0.10	0.035
Eficiencia microbiana ²	20.0	21.1	20.4	0.63	0.31	0.80
Eficiencia de proteína ³	1.11	1.17	1.10	0.83	0.15	0.40
Excreción fecal (g/d)						
MO	968	1060	997	0.66	0.21	56
FND	436	457	393	0.45	0.40	47
Almidón	13.7	12.9	10.5	0.27	0.73	2.3
N	32.1	36.0	34.1	0.43	0.19	2.1
Digestibilidad total						
MO	0.835	0.845	0.835	0.66	0.21	0.009
FND	0.549	0.600	0.549	0.74	0.39	0.046
Almidón	0.996	0.996	0.997	0.99	0.33	0.001
N	0.695	0.714	0.695	0.51	0.19	0.017

¹CMS fue restringido a 2.2% de PVV/día.

²N microbial, g/kg de MO fermentada.

³N no amoniacal llegando a intestino delgado como una fracción del N consumido.

El efecto de rerolado de grano de maíz sobre las características de función ruminal y digestión en tracto total no ha sido reportado anteriormente. En el presente estudio, la variación en la proporción de partículas más pequeñas de MHV no influyó sobre la digestión ruminal o total de MO, fibra o almidón. La digestión ruminal y total del almidón promedió 88,8 y 99,6%, respectivamente. Estos valores son ligeramente mayores que los promedios para el maíz en hojuelas (85 y 98,9%, respectivamente; Huntington, 1997). Sin embargo, las medidas de la digestión ruminal y total de almidón concuerdan con estudios previos (Plascencia y José María, 2007; Zinn, 1990; Zinn y Barajas, 1997) en los cuales la densidad de la hojuela fue similar a la del presente estudio (0,31 kg/L), promediando 87,6 y 99,3%, respectivamente.

No se observaron efectos del tratamiento sobre parámetros de digestión del N, promediando 67,5%, lo cual concuerda con lo esperado al momento de formular las dietas (65,8%; NRC, 1996). Mientras que los cambios en la densidad de la hojuela pueden influir en la digestión N (Zinn, 1990), el presente estudio revela que el tamaño de partícula de MHV, per se, podría no tener un efecto apreciable. El valor obtenido del flujo de N microbial a duodeno (95,1 g) fue intermedio acorde con lo esperado en base a los niveles 1 y 2 de NRC (1996), obteniéndose valores de 90.1 y 102.1 g/d, respectivamente. La eficiencia microbiana a nivel ruminal (g N microbial/kg MO fermentada) y la eficiencia del N (flujo del n no amoniacal al intestino delgado como una proporción de la ingesta de N) promedió 20.5 y 1.13, respectivamente.

En el presente estudio no se observaron efectos de los tratamientos sobre el pH ruminal, promediando 5.58, lo cual concuerda con el valor esperado (5.58) en base a NRC (1996). En la medida en que se incrementa la intensidad del procesamiento de maíz, ya sea en grano rolado en seco o molido (Corona et al., 2005), o cambios en la densidad de la hojuela de MRV (Zinn, 1990; Zinn et al, 1995), se puede alterar el grado de digestión del almidón, el pH ruminal y las proporciones molares de AGV. En consecuencia, la falta de efectos del tratamiento sobre el pH ruminal proporciones molares VFA es consistente con la falta de efectos antes mencionada sobre la digestión ruminal y total de almidón y MO.

Los efectos del tratamiento sobre las características de fermentación ruminal se muestran en la Tabla 4. Allí se observaron efectos del tratamiento ($P \geq 0,19$) sobre el pH ruminal, proporciones molares de AGV o estimado la producción de metano.

Tabla 4. Influencia de los tratamientos características de la fermentación ruminal

Item	Proporción de prerolado SFC			P valor		
	0	33.3	66.7	Lineal	Cuadrado	SEM
pH Ruminal	5.63	5.69	5.43	0.27	0.30	0.1
Total AGV, mM	93.3	94.9	101	0.35	0.74	6.8
Ruminal AGV, mol/100 mol						
Acetato	49.6	52.6	46.6	0.50	0.24	3.6
Propionato	38.7	36.4	40.8	0.60	0.34	3.3
Isobutirato	0.87	0.64	0.87	0.99	0.19	0.2
Butirato	7.84	7.41	8.43	0.74	0.64	1.5
Isovalerato	1.17	1.28	1.22	0.89	0.78	0.3
Valerato	1.85	1.64	2.10	0.52	0.34	0.3
Acetato/propionato	1.35	1.60	1.16	0.52	0.20	0.2
Metano ¹	0.37	0.40	0.33	0.57	0.30	0.05

¹Metano, mol/mol equivalente de glucosa fermentada.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio apoyan la idea emergente de que la reducción de tamaño de partícula de maíz en hojuelas, como podría ocurrir durante el transporte y la manipulación tras su procesamiento, no altera las características de la digestión del maíz hojueado, ni aumenta la susceptibilidad de ganado a disfunciones digestivas (acidosis). Por lo tanto, aunque se presenten incrementos en la proporción de "finos", per se, no afectará negativamente la aceptabilidad de la dieta y el rendimiento del ganado de engorda alimentado en base a dietas altas en maíz hojueado a vapor.

LITERATURA CITADA

Ametaj, B. N., K. M. Koenig, S. M. Dunn. 2009. Backgrounding and finishing diets are associated with inflammatory responses in feedlot steers. *J ANIM SCI* 2009, 87:1314-1320.

Armbruster, S. 2005. Steam flaking grains for feedlot cattle: a consultant's perspective. Steve Ambruster Consulting, Inc. sasmburster@beeftech.net

AOAC. Official methods of analysis, 12th ed. Official Analytical Chemists, Washington (DC): 1984.

Beauchemin, K. A., Yang W. Z., L. M. Rode. Effects of barley grain processing on the site and extent of digestion of beef feedlot finishing diets. *J Anim Sci* 2001;79:1925-1936

Theurer, C. B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. ANIM. SCI*, 63:1649.

Britton, R. A. and R. A. Stock. 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

Cooper, R. J., C. T. Milton, T. J. Klopfenstein and D. J. Jordon. 2002. Effect of corn processing on degradable intake protein requirement of finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 80:242–247.

Cooper, R. J., C. T. Milton, T. J. Klopfenstein, T. L. Scott, C. B. Wilson and R. A. Mass. 2002. Effect of corn processing on starch digestion and bacterial crude protein flow in finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 80:797–804.

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

Elizalde, J. C., N. R. Merchen, and D. B. Faulkner. 1999. Sites of organic matter, fiber, and starch digestion in steers fed fresh alfalfa and supplemented with increased levels of cracked corn. <http://www.triail.uiuc.edu/uploads/beefnet/papers/SitesOrganicMatterJCE8.pdf>.

Elizalde, J. C., N. R. Merchen and D. B. Faulkner. 1999. Supplemental cracked corn for steers fed fresh alfalfa: I. Effects on digestion of organic matter, fiber and starch. *J. Anim. Sci.* 77:457-466.

Ewing, D. L., D. E. Jhonson and W. V. Rumpler. 1986. Corn particle passage and size reduction in the rumen of beef steers. *J. Anim. Sci.* 63:1509-1515

Ewing, D. L., and D. E. Jhonson. 1987. Corn particle starch digestion, passage and size reduction in beef steers: a dynamic model. *J. Anim. Sci.* 64:1194-1204.

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. Level of feed intake and site and extent of digestion of high concentrate diets by steers. *J. Anim. Sci.* 49:199

Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agric. Handbook* 379. ARS, USDA, Washington, DC.

Hill FN. Anderson D. L. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing chicks. *J Nutr* 1958; 64:587-594.

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. 1997. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *Journal of Animal Science.* 75: 852-867.

Huntington, G. B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J Anim Sci* 1997;75:852-867

Ishida, T., M. Kurihara, N. Arata, T. Nishida, A. Purnomohadi, M. Aoki, Y. Tanaka, Y. Kohno and A. Abe. 1997. Comparative feeding values of whole-shelled or whole steam-rolled corn and whole-shelled or whole steam-rolled barley for dairy cattle. *Bulletin of National Institute of Animal Industry.* 58: 9-17.

Lee, R. W., M. L. Galyean and G. P. Lofgreen. 1982. Effects of mixing whole, shelled and steam-flaked corn in finishing diets on feedlot performance and site and extent of digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 55:475-485.

Nocek, J. E. and S. Tamminga 199. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. Journal of dairy science, volume 74, Issue 10, Pages 3598-2629, October 1991.

Orskov, E. R. 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. J. Anim. Sci. 63:1624-1633.

Owens, F. N., R. A. Zinn and Y. K. Kim. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. J Anim Sci 1986;63:1634-1648.

Owens, F. N., D. S. Secrist, J. Hill and D. R Gill. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle:A review.J Anim Sci 1997;75:868-879.

Philippeau, C., C. Martin, and B. Michalet-Doreau. 1999. Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site, and extent of digestion in beef steers. J. Anim. Sci. 77:1587-1596.

Pordomingo, A. J., O. Jonas, M. Adra, G. Santucho, N. A. Juan y M. P. Azcárate. 2002a. Evaluación de dietas basadas en grano entero, sin fibra larga, en engorde a corral. RIA 31:1-22.

Ramirez R. G., H. E Kiesling, M. L Gaylean, G. P Lofgreen, J. K. Elliot. Influence of steam-flaked, steamwhole or whole shelled corn on performance and digestion in beef steers. J Anim Sci 1985;61:1-8.

Russell, J. B. and R. B. Hespell. 1981. J. Dairy Sci. 64, 1153.

Stock, R .A., T. Klopfenstein y D. Shain. 1995. Feed intake variation. Okla. Agric. Exp. Sta. Misc. Publ. P-942:56-59.

Streeter M. N., D. G. Warner, F. N. Owens, C. A. Hibberd. Combinations of high-moisture harvested sorghum grain and dry-rolled corn: effects of site and extent of digestion in beef heifers. J Anim Sci 1989;67:1623-1633

Swanson, K. C., C. J. Richards and D. L. Harmon. 2002. Influence of abomasal infusion of glucose on partially hydrolyzed starch on pancreatic exocrine secretion in beef steers. J ANIM SCI 2002, 80:1112-1116.

Swingle, R. S., T. P. Eck, C. B. Theurer, M. De la Plata, M. H. Poore and J. A. Moore. 1999. Flake density of steam-processed sorghum grain alters performance and sites of digestibility by growing-finishing steers. J. Anim. Sci. 77:1055-1065.

Thorne, M. J., L. U. Thompson and D. J. A. Jenkins. 1983. Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legume. *Amer. J. Clin. Nutr.* 38:481-488. Available: <http://www.ajcn.org/cgi/reprint/38/3/481>. Accessed May. 07, 2006.

Waldo, D. R. 1973. Extent and partition of cereal grains starch digestion in ruminants. *J. Anim. Sci.* 37:1062-1083.

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.

Zinn, R. A. Influence of flake thickness on the feeding value of steam-rolled wheat for feedlot cattle. *J Anim Sci* 1994;72:21-28.

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